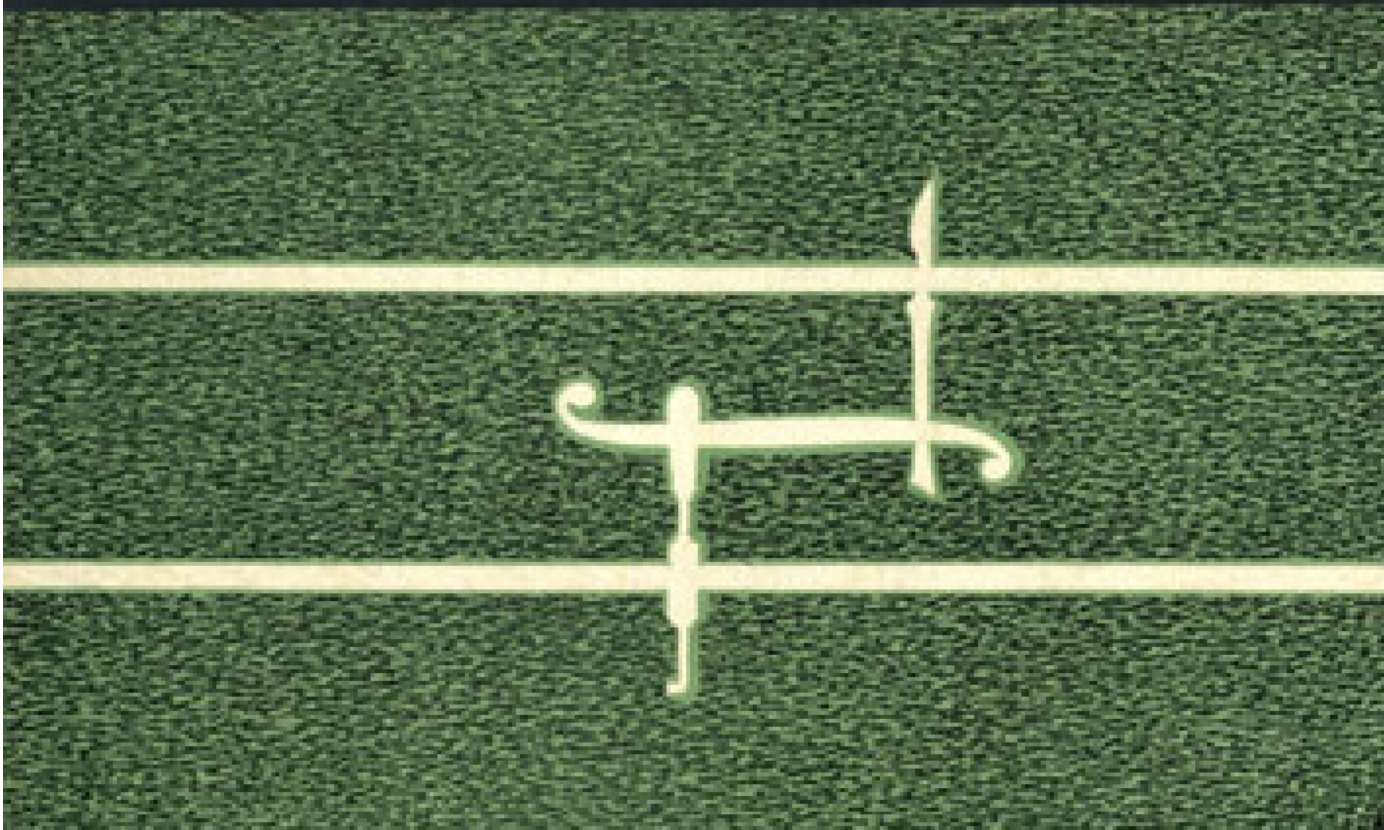
И.Б.ЛИТИНЕЦКИЙ · **БЕСЕДЫ О БИОНИКЕ**



SHOUT
SHARE
IT

Annotation

Пожалуй, ни одна из новых наук, родившихся в наш XX век, не приобрела за короткий срок своего существования такой огромной популярности, как бионика. Однако, если не считать отдельных статей и брошюр, до сих пор о бионике с инженерных позиций с широким кругом читателей еще никто всерьез не говорил. Популяризация любой науки — дело сложное и трудное, а бионики — особенно. Чтобы написать в занимательной форме с большой научной достоверностью книгу о современных достижениях бионики и дальнейших путях развития этой новой многообещающей науки, нужно обладать не только обширными и глубокими инженерными знаниями, но и приобщиться к «безбрежной» биологии, что само по себе не просто. Надо быть еще немножко историком и философом.

- Изот Борисович Литинецкий
  - Предисловие
  - Беседа первая. Скальпель, паяльник, интеграл
  - Беседа вторая. Скорость, экономичность, маневренность
  - Беседа третья. Биотоки в упряжке
  - Беседа четвертая. Оракулы природы
  - Беседа пятая. Биологические часы
  - Беседа шестая. Живые локаторы
  - Беседа седьмая. Искусные навигаторы
  - Беседа восьмая. Бионика и архитектура
  - Беседа девятая. Покорение голубого континента
  - Беседа десятая. Биологическая связь
  - Беседа одиннадцатая. Машина учится слушать, понимать, говорить
  - Беседа двенадцатая. Зрячие машины
  - Беседа тринадцатая. На пути к искусственному мозгу
- notes
  - 1
  - 2
  - 3
  - 4
  - 5
  - 6
  - 7
  - 8
  - 9

- ○ 10
- ○ 11
- ○ 12
- ○ 13
- ○ 14
- ○ 15
- ○ 16
- ○ 17
- ○ 18
- ○ 19
- ○ 20
- ○ 21
- ○ 22
- ○ 23
- ○ 24
- ○ 25
- ○ 26
- ○ 27
- ○ 28

Изот Борисович Литинецкий
Беседы о бионике

Предисловие

Пожалуй, ни одна из новых наук, родившихся в наш XX век, не приобрела за короткий срок своего существования такой огромной популярности, как бионика. Однако, если не считать отдельных статей и брошюр, до сих пор о бионике с инженерных позиций с широким кругом читателей еще никто всерьез не говорил.

Популяризация любой науки — дело сложное и трудное, а бионики — особенно. Чтобы написать в занимательной форме с большой научной достоверностью книгу о современных достижениях бионики и дальнейших путях развития этой новой многообещающей науки, нужно обладать не только обширными и глубокими инженерными знаниями, но и приобщиться к "безбрежной" биологии, что само по себе не просто. Надо быть еще немножко историком и философом, потому что подлинно популярную книгу о бионике сегодня нельзя уложить в рамки локальной научной публикации: такая книга должна воссоздать перед читателем картину зарождения и становления новой науки, берущей свое начало в глубокой древности, показать всю ее современную многогранность и потенциальные возможности. Надо отличаться большим трудолюбием и быть энтузиастом бионики, чтобы в течение нескольких лет по крупицам собирать, обрабатывать и систематизировать разрозненный в сотнях публикаций на различных языках мира обширнейший материал о результатах бионических исследований, проведенных со времен Леонардо да Винчи, Кеплера и до наших дней. Наконец, надо владеть пером, чтобы, не утомляя читателя специальной научной терминологией, образно и эмоционально раскрыть по возможности полно всю проблематику современной бионики.

Сейчас более или менее четко определилось три основных направления бионики: биологическое, теоретическое (математическое) и техническое. Предметом биологической бионики является изучение явлений и процессов, протекающих в живых организмах, для выяснения положенных в их основу принципов, могущих помочь в решении тех или иных актуальных проблем. Теоретическая бионика занимается разработкой формально-математических моделей жизнедеятельности. Эта отрасль бионики является относительно новым на-правлением, результаты работы которого необходимы как биологам — для углубленного понимания функций биологических систем, так и инженерам — для создания электронных аналогов этих систем. Что же касается технической бионики, то она занимается

усовершенствованием существующих и созданием принципиально новых технических систем, основанных на математических моделях, разработанных теоретической бионикой. Таким образом, общей задачей бионики является углубленное изучение функций, особенностей и явлений живой природы с целью применения добытых знаний в мире техники. Автор в основном посвятил свою книгу наиболее интенсивно развивающейся в настоящее время технической бионике.

Автор знакомит читателя с важнейшими исследованиями, которые ведутся в настоящее время отечественными и зарубежными коллективами бионików в области аэрогидродинамики, биомеханики, биоархитектуры, биометеорологии; с работами по изучению механизмов и методов локации, ориентации и навигации различных животных; с бионическими аспектами проблемы "человек — машина"; с созданием биоэлектрических систем управления техническими объектами и биоточным протезированием; с исследованием возможностей долговременного пребывания человека под водой и работами по освоению сказочных богатств "голубого континента"; с фундаментальными исследованиями в области распознавания зрительных и акустических образов; с моделированием нейронов и нервных сетей и, наконец, с работами по изучению принципов микроминиатюризации и обеспечения высокой надежности биологических систем.

Каждая беседа насыщена огромным фактическим материалом, поданным в увлекательной форме. Поэтому соблазн пересказать содержание всей книги очень велик.

Нам надо, писал В. И. Ленин, чтобы "наука действительно входила в плоть и кровь, превращалась в составной элемент быта вполне и настоящим образом". "Беседы о бионике" прочтет с удовольствием не только специалист, но и каждый образованный человек, потому что книга посвящена новому и интересному научному направлению и написана не шаблонным, не сухим "научным" языком. Романтическая книга о науке привлечет и новых энтузиастов бионики: ведь для того, чтобы открыть новые земли, нужен, образно говоря, не только учебник навигации, но и "Одиссея", пробуждающая героическую жажду исканий. И в этом смысле значение "Бесед о бионике" И. Б. Литинецкого трудно переоценить. Написана умная и содержательная книга, увлекательный рассказ о новейших достижениях самой молодой и многообещающей науки. Такую книгу уже давно ждет широкий круг наших читателей.

23 октября 1967 г. Москва

Академик А. И. Берг

Беседа первая. Скальпель, паяльник, интеграл

Молодая наука бионика получила свое название от древнегреческого слова *"bion"* — элемент жизни, ячейка жизни или. точнее, элемент биологической системы.

Формально датой рождения бионики принято считать 13 сентября 1960 г-день открытия первого американского национального симпозиума на тему "Живые прототипы искусственных систем — ключ покой технике". Однако такой симпозиум можно было провести только потому, что к этому времени уже были получены первые значительные результаты в изучении принципов организации и функционирования некоторых живых систем и практическом использовании добытых знаний для решения ряда актуальных задач техники.

Каковы же особенности новой науки? В чем ее суть? Что это за "живая вода" техники? Какие причины вызвали к жизни бионику? Для того чтобы ответить на все эти вопросы, нам придется совершить небольшой экскурс в далекое прошлое.

Предполагается, что Земля существует около 5 миллиардов лет, что жизнь в самом примитивном виде зародилась 1,5 — 2 миллиарда лет назад. В процессе последующего беспощадного естественного отбора, длившегося миллионы лет, среди животных и растений выжили самые сильные, лучше всего приспособившиеся к определенным природным условиям, совершавшие меньше всего ошибок, действовавшие более рационально. В итоге столь продолжительной эволюции природа создала на Земле гигантскую сокровищницу, в которой не счесть изумительных образцов "живых инженерных систем", функционирующих очень точно, надежно и экономично, отличающихся поразительной целесообразностью и гармоничностью действий, способностью реагировать на тончайшие изменения многочисленных факторов внешней среды, запоминать и учитывать эти изменения, отвечать на них многообразными приспособительными реакциями.

Многие из этих "изобретений" природы еще в глубокой древности помогали решать ряд технических задач. Так, например, проводя глазные хирургические операции, арабские врачи уже много сотен лет назад получили представление о преломлении световых лучей при переходе из одной прозрачной среды в другую. Изучение хрусталика глаза натолкнуло врачей древности на мысль об использовании линз, изготовленных из

хрусталя или стекла, для увеличения изображения. "Создание линзы, — отмечает Джон Бернал, — является первой попыткой расширить сенсорный аппарат человека... Линза стала прототипом телескопа, микроскопа и других оптических приборов позднейшего времени. Если бы арабские врачи создали только оптику и ничего больше, то и в этом случае они внесли бы важнейший вклад в науку".

В области физики изучение многих основных принципов учения об электричестве было начато с исследования так называемого животного электричества. В частности, знаменитые опыты итальянского физиолога XVIII века Луиджи Гальвани с лапкой лягушки привели в конечном итоге к созданию гальванических элементов — химических источников электрической энергии.

Французский физиолог и физик XIX столетия Жан Луи Мари Пуазейль на основе экспериментальных исследований тока крови в кровеносных сосудах установил закон течения жидкости в тонких трубках. Этот закон ныне широко используется в гидравлике при определении вязкости, а также скорости кровотока в капиллярных сосудах.

В 1840 — 1841 гг. немецкий ученый Юлиус Роберт Майер, выполнявший обязанности судового врача на голландском судне, направлявшемся на остров Яву, заметил, что в тропиках цвет венозной крови изменяется. Тщательное изучение энергетического баланса живого организма и крови человека завершилось установлением закона сохранения и превращения энергии, который был изложен Майером в труде "Замечания о силах неживой природы" (1842 г.), а более полно и развернуто — в трудах "Органическое движение в его связи с обменом веществ" (1845 г.) и "О количественном и качественном определении сил" (1881 г.).

И еще один, последний, пример. Великий русский ученый Н. Е. Жуковский, исследуя полет птиц, открыл "тайну крыла", разработал методику расчета подъемной силы крыла, той силы, которая держит самолет в воздухе. Он не замедлил приложить свою теорию к практике, и, в сущности, результаты изучения особенностей полета птиц, которому так много времени уделял Н. Е. Жуковский, лежат в основе современной аэродинамики.

Приведенные примеры, а их число можно было бы значительно умножить, убедительно говорят о том, что замечательные творения живой природы уже давно изучаются, а принципы их построения заимствуются человеком. Однако поиски в патентной библиотеке кудесницы природы новых идей, приложимых к различным задачам техники, были

нерегулярными, носили спорадический характер. Лишь в последние годы в связи с бурным развитием автоматики, электроники и кибернетики, а также с успехами экспериментальной техники такие поиски стали систематическими и приобрели широкий размах. Именно это стремление ученых понять, в чем природа совершеннее, умнее, экономнее современной техники, их попытки найти новые методы решения стоящих перед инженерами сложных проблем и породили новую науку, получившую название бионика.

Живые системы значительно многообразнее и сложнее технических конструкций. Чтобы познать "конструкцию" и принцип действия биологической системы, повторить ее в металле или хотя бы промоделировать, исследователю необходимы универсальные знания. Между тем до сравнительно недавнего времени шел интенсивный процесс разъединения, дробления научных дисциплин. В конечном итоге это привело к возникновению около 1200 отраслей знания. На определенном этапе такая дифференциация знаний способствовала успешному развитию всех или почти всех отраслей науки и техники. Но теперь узкая специализация ученых затрудняет прогресс. В результате чрезмерной дифференциации науки очень усложнилось общение специалистов, работающих даже в смежных областях. Ученые говорят подчас на разных "языках" и плохо понимают друг друга, причем трудности общения специалистов с каждым годом возрастают. Вследствие этого появилась настоятельная потребность в такой организации результатов исследований, которая позволяла бы охватить их целиком, интегрировать на основе единых всеобъемлющих принципов.

Первый крупный шаг на пути к новому объединению наук — интеграции на основе всеобщности принципов управления живым и неживым и их связи сделала в середине нашего столетия кибернетика. По этому же пути, но еще дальше пошла недавно родившаяся бионика. Бионика устраняет противоречие, возникшее в результате специализации наук, и соединяет разнородные сведения в соответствии с единством живой природы. Она сформировалась на базе различных отраслей биологии, физики, техники и других наук. По существу, она синтезирует накопленные знания в ботанике и электронике, физиологии и кибернетике, математике и нейрофизиологии, физике и психологии, биохимии и механике, биофизике и психиатрии, нейрологии и эпидемиологии, химии и анатомии. Не случайно бионики избрали своей эмблемой скальпель и паяльник, соединенные знаком интеграла, а девизом — "Живые прототипы — ключ к новой технике".

Хотя новая наука сразу же обзавелась эмблемой и девизом, нельзя не отметить, что до сих пор среди ученых нет единого мнения о содержании бионики. Первоначально бионика связывалась с решением ряда специфических задач электроники, и в литературе появилось множество названий дисциплин, расположенных между классической биологией и электроникой и объединяющих эти две отрасли ("биомедицинская электроника", "биотехника", "медицинская электроника", "прикладная биофизика", "биофизическое приборостроение", "бионика" и др.). Такое множество названий, естественно, вносило путаницу и затемняло существо вопроса, в котором должна была царить полная ясность. Затем была высказана мысль о том, что бионика — это лишь "искусство применения знаний биологии при решении некоторых инженерных проблем". Несколько позже бионику начали трактовать как комплекс практических приемов и методов, заимствованных из биологии и используемых при решении технических задач.

В настоящее время многие специалисты считают бионику новой отраслью, новой ветвью кибернетики. "Бионика — это раздел кибернетики, занимающийся использованием биологических процессов и приложением биологических методов для решения инженерных задач". Именно так определяет бионику энциклопедия "Автоматизация производства и промышленная электроника".

Однако имеется немало ученых, которые не согласны с таким определением. В частности, один из основоположников этой науки, профессор Массачусетского технологического института Уоррен Мак-Каллок в докладе "Подражание одних форм жизни другим — биомимезис", прочитанном осенью 1961 г. на состоявшемся в Итаке (США) симпозиуме по бионике, высказал следующее мнение:

> "Ее (бионику — И. Л.) никоим образом нельзя отождествлять с кибернетикой или считать частью этой науки. В сущности, бионика — область гораздо более широкая... Главное ее содержание — изучение тех приемов, к которым прибегает природа для решения различных задач, а конечная цель — воплощение их в виде инструментов и приборов".

Итак, мнения ученых в вопросе о том, является ли бионика самостоятельной научной дисциплиной или же новой ветвью кибернетики, расходятся. Однако нам думается, что если учесть существующее ныне положение в бионике, достигнутые ею за последние годы успехи и зримо видимое уже сегодня ее

многообещающее будущее, то бионику вполне заслуженно, не колеблясь, можно и должно возвести в "ранг" самостоятельной науки. В самом деле, ее задачи никак нельзя сводить лишь к изучению вопросов, непосредственно связанных с процессами управления и связи, т. е. к исследованию механизмов восприятия, переработки и передачи информации в живых организмах, и к использованию полученных данных при проектировании кибернетической аппаратуры различных видов.

На наш взгляд, бионика является более широкой наукой, она имеет дело с самыми разнообразными характеристиками живых организмов, переносимыми в технические системы, в том числе с характеристиками вещественных, энергетических и информационных процессов. У бионики чрезвычайно широкий круг интересов, она связана теснейшим образом с множеством прикладных технических отраслей: самолетостроением, космонавтикой, кораблестроением, радиоэлектроникой, инструментальной метеорологией, машиностроением, строительным делом, навигационным приборостроением, архитектурой, технологией химических производств и др. Объединяя и взаимно обогащая изолированные ранее друг от друга биологические и технические науки, бионика стремится на основе современных математических, физических и физико-химических методов исследования биологических систем найти оптимальные решения самых сложных инженерных проблем.

Говоря кратко, бионика — это наука, занимающаяся изучением принципов построения и функционирования биологических систем и их элементов и применением полученных знаний для коренного усовершенствования существующих и создания принципиально новых машин, приборов, аппаратов, строительных конструкций и технологических процессов. Ее можно также назвать наукой о построении технических устройств, характеристики которых приближаются к характеристикам живых систем.

В настоящее время различают три основных методологических направления бионики: биологическое, математическое (теоретическое) и техническое. Биологическая бионика, базируясь на самых разных разделах биологии и медицины, использует их достижения для выявления определенных принципов живой природы, могущих быть положенными в основу решения тех или иных чисто инженерных проблем. Содержанием теоретической бионики является разработка математического аппарата биологического моделирования, а также математических моделей явлений и процессов, протекающих в живых организмах. И, наконец,

техническая бионика занята реализацией математических моделей тех или иных сторон деятельности живых организмов с целью усовершенствования существующих и создания совершенно новых технических средств и систем — приборов, аппаратов, устройств, превосходящих по своим характеристикам уже созданные ранее и действующих по биологическому принципу.

Однако надо заметить, что в природе не все устроено лучшим образом. Выступая на I Всесоюзной конференции по бионике в конце 1963 г., академик А. И. Берг отметил: "Далеко не все методы и способы решения и реализации, оправданные в живой природе, приемлемы для нас сегодня в технике. В природе очень много нецелесообразного, лишнего, давно отжившего, несовершенного. Ведь часто интересы отдельного субъекта растворяются в интересах сохранения, воспроизведения и размножения всего вида. Избыточность в природе часто не экономична и с научной точки зрения совершенно неоправдана... Не удовлетворяют современную технику и те скорости рабочих процессов, с которыми мы встречаемся в биологических системах". Поэтому бионика не идет по пути слепого копирования природы. Изучая биологические объекты и процессы, она стремится позаимствовать у природы лишь самые совершенные конструктивные схемы и механизмы биологических систем, ее внимание сосредоточено "...на раскрытии тех принципов построения структуры, определении тех важнейших функциональных зависимостей и методов приспособления, резервирования и самообновления, которые обеспечивают биологическим системам исключительно высокую гибкость и живучесть в сложных условиях их существования". Иными словами, бионика стремится перенести в технику лучшие создания природы, самые рациональные и экономичные структуры и процессы, которые выработались в биологических системах за миллионы лет эволюционного развития.

Тематика проводимых в настоящее время в разных странах бионических исследований чрезвычайно обширна. Всю совокупность разрабатываемых ныне важнейших проблем условно можно подразделить на ряд комплексов, дающих представление о целенаправленности и характере задач, решаемых бионикой. Перечислим эти комплексы:

Исследование и моделирование нейронов, нейронных сетей, нервных центров и принципов организации мозга живого организма с целью изыскания путей их использования в технических устройствах и системах.

Исследование принципов, позволяющих достичь высокой надежности биологических систем, моделирование

биологических принципов резервирования, компенсаторных функций организмов и их способностей к адаптации.

Исследование биологических рецепторных и анализаторных систем (главным образом изучение органов зрения, слуха и обоняния) с целью построения их технических моделей.

Исследование систем навигации, локации, стабилизации, ориентации некоторых представителей мира животных; создание принципиально новых технических устройств на основе результатов этих исследований.

Исследование методов кодирования, передачи и обмена информацией, применяемых биологическими системами на различных уровнях организации (на уровне коллективов, отдельных организмов, органов, на клеточном и молекулярном уровнях), с целью создания новых видов и средств технической связи.

Проблема "человек — машина"; бионические аспекты проблемы: разработка методов выявления и оценки психофизиологических способностей и возможностей человека; поиск оптимальных методов обучения и тренировки; создание средств, облегчающих условия работы человека-оператора биоэлектрических систем управления техническими объектами и системами; разработка методов и средств контроля и прогнозирования состояния человека-оператора.

Исследование аэродинамических свойств птиц и насекомых, гидродинамических характеристик рыб, китообразных, а также рыхлящих и землеройных приспособлений некоторых животных с целью использования результатов этих исследований в авиа- и судостроении, при конструировании и изготовлении землеройных машин.

Построение технических систем для получения энергии на основе аналогии с биологическими системами и для получения энергии в специальных случаях непосредственно от биологических систем.

Освоение биологических способов добычи полезных ископаемых, биологических методов в технологии производства сложных органических веществ.

Изучение биологических процессов, природных конструкций и форм с целью их использования в строительной технике и архитектуре.

Возможно, что завтра у бионики появятся новые задачи, идеи, направления, которые трудно предусмотреть сегодня. Однако независимо от этого предельно ясно, что благодаря стремительному и целенаправленному развитию бионики во многом еще "загадочная" природа становится все более мудрым

советчиком, учителем и союзником человека.

Возможности искусственного воспроизведения природных объектов, живых структур всегда зависят от исторических условий, от определенного уровня развития науки и техники. В развитии творческой мысли и технических возможностей человека не существует какого-либо предела. Следовательно, нет и не может быть естественных объектов, принципиально не воспроизводимых искусственно. Существуют лишь объекты, которые не могут быть смоделированы на данном этапе развития науки и техники. Но по мере развития наших знаний и технических средств возможности моделирования "естественной" природы расширяются. Поэтому не может быть сомнения в том, что со временем бионики не только повторят самые выдающиеся инженерные шедевры природы, но и превзойдут их.

Уделив столько места предмету бионики, нельзя не сказать нескольких слов о том, как и почему появилась эта книга, какую задачу пытался решить автор, собирая и систематизируя огромный по объему материал. Несмотря на свой еще совсем юный возраст, бионика уже может и должна подвести некоторые итоги.

Такое утверждение можно оправдывать по-разному, но оно покажется совершенно очевидным всякому, кто прочтет до конца эту книгу.

Однако сегодня трудно представить себе монографию или научный обзор, который охватил бы все области бионики — этого поразительного конгломерата, объединившего столько отраслей человеческих знаний. Именно поэтому автор остановил свой выбор только на одном направлении — это книга в основном о технической бионике, ее проблемах и достижениях, ее загадках и перспективах.

Казалось бы, задача поставлена предельно скромно. Но решить ее в одной книге каким-либо путем, отличным от того, который избрал автор, представляется нереальным. Выше мы перечислили те комплексы исследований, из которых складывается сегодняшняя техническая бионика. Проблемы этих исследований настолько различны, средства для решения этих проблем настолько разнообразны, что серьезные научные работы должны неизбежно становиться узкими и специальными. Значит, популярный рассказ — это та единственная форма, которая может сгладить все внутренние противоречия и решить основную задачу — подвести итоги развития молодой, бурно развивающейся науки.

Серьезной проблемой, неизбежно возникающей перед автором любой популярной книги, становится вопрос о

библиографии. Вполне очевидно, что, обобщая и анализируя огромный по объему материал, автор лишен практически возможности сделать ссылки на все литературные источники (от трудов специальных научных симпозиумов до сообщений в периодической печати), которые так или иначе были использованы в процессе создания книги. Там, где это возможно, автор указывает место, время и исполнителей того или иного эксперимента, иногда ссылается в тексте на источник получения информации. Но систематического библиографического указателя в книге не дано, и сделано это вполне сознательно. Если задаться на сегодня такой целью, то сама по себе библиография займет не меньше чем пятую часть объема этой книги и скорее будет полезной специалистам, нежели тем читателям, которых имеет в виду автор. Не ссылаясь всякий раз на источники, автор тем самым берет на себя, берет добровольно и сознательно, дополнительную ответственность.

Есть условия, которые при всем при этом должны соблюдаться свято: научная достоверность приводимого факта и грамотное с точки зрения физика и химика, биолога и инженера объяснение факта, исследования, задачи. В этом смысле неоценимую помощь советами и обсуждениями, рецензиями и рекомендациями оказали автору академик А. И. Берг, чл.-корр. АН СССР Б. С. Сотсков, акад. АН УССР В. Г. Касьяненко, докт. биол. наук, проф. А. Г. Томилин и все те, кто взял на себя труд прочесть рукопись или ее отдельные части.

Есть еще одна цель, которую преследовал автор, работая над этой книгой. Чтобы быть перед читателем честным до конца, следует рассказать и о ней. По нашему глубокому убеждению, бионика больше всего сейчас нуждается в специалистах, в энтузиастах, в романтиках, способных поверить в ее будущее, способных отдать ей весь пыл и всю страсть молодости, весь опыт и всю мудрость зрелости. При этом жанр научной популяризации может и наверняка сыграет решающую роль. С этой позицией автора связана одна особенность книги, которая вряд ли встретит всеобщее понимание. Автор время от времени позволял себе помечтать вместе с читателем о том, что сегодня может показаться фантастическим (но заметьте, не абсурдным!). Автор рассказывает о самых смелых, о самых "головокружительных" проектах и стремится, чтобы голова у читателя закружилась в ту же сторону. Даже если читатель углубится в какую-либо проблему с целью опровергнуть "зарвавшегося" автора, это будет большим достижением и принесет автору немалое удовлетворение.

И если, говоря о бионике серьезно, мы называем ее символами скальпель, паяльник и интеграл, то полушутя-

полусерьезно сегодня следует прибавить к этим символам еще и перо.

Беседа вторая. Скорость, экономичность, маневренность

Природа не "изобрела" ни колеса в том виде, в котором мы его привыкли видеть, ни гребного винта, ни пропеллера, ни многих других устройств, широко применяемых ныне в различных видах транспорта. И все же ни одна отрасль техники так не обязана природе своим возникновением и стремительным развитием, количеством заимствованных у нее идей и методов, как современный транспорт во всем его многообразии.

Рис. 1. Нога человека при ходьбе описывает часть окружности

Щедрая, все знающая и все умеющая природа научила человека строить самолеты, сделала его крылатым, как птица, и быстрым, словно мысль. Она же научила его плавать и мастерски сооружать речные, морские и океанские корабли. И очень может быть, что идею изобретения колеса человеку также подсказала природа. Действительно, присмотритесь повнимательнее, как идет человек (рис. 1). Шагание, как говорят инженеры, — это "прерывистое качение". Человек же в свое время пошел дальше, он создал колесо, способное к непрерывному качению. Рушились

царства, сменялись цивилизаций, но круглая форма колеса оставалась неизменной. Гениальное изобретение человека — колесо прочно вошло в нашу жизнь. Найдись ныне какой-нибудь озорник, который вздумал бы вдруг утащить у нас все колеса, и мы оказались бы в крайне затруднительном положении.

По сути, природа была первым политехническим институтом, в котором человек за многие века своей учебы приобрел "высшее" образование в разных областях транспорта. Но все это было давно. А сегодня? Можем ли мы, располагая быстроходными автомашинами, скоростными железнодорожными экспрессами, комфортабельными дизель-электроходами, стремительными воздушными лайнерами, еще чему-нибудь научиться у природы, позаимствовать из ее "инженерной" сокровищницы новые прогрессивные идеи, методы и средства для дальнейшего развития техники транспорта? Оказывается, можем, и вот тому пример.

Не так давно сотрудники Научно-исследовательской лаборатории механизации трудоемких работ Горьковского политехнического института разработали под руководством А. Ф. Николаева оригинальную снегоходную машину, в основе которой лежит принцип передвижения пингвинов по рыхлому снегу. Эти забавные птицы передвигаются весьма своеобразным способом — на брюхе, отталкиваясь от снега ластами, словно лыжники палками. Точно так же, лежа на снежной поверхности широким днищем и отталкиваясь от нее колесными плицами, легко скользит по рыхлому снегу новая снегоходная машина "Пингвин", развивая скорость до 50 км/час.

В таких машинах давно нуждаются многие отрасли народного хозяйства на Севере нашей страны; они окажут неоценимую услугу отважным советским исследователям Антарктиды во время их долгих и трудных походов по снежной пустыне, где обычные тягачи, тракторы и транспортеры не способны развивать достаточно большую скорость: эти машины образуют слишком глубокую колею, часто буксуют и увязают в мелкозернистом, несцементированном, рассыпчатом, как песок, снегу.

Не менее интересна и другая транспортная новинка, позаимствованная у природы.

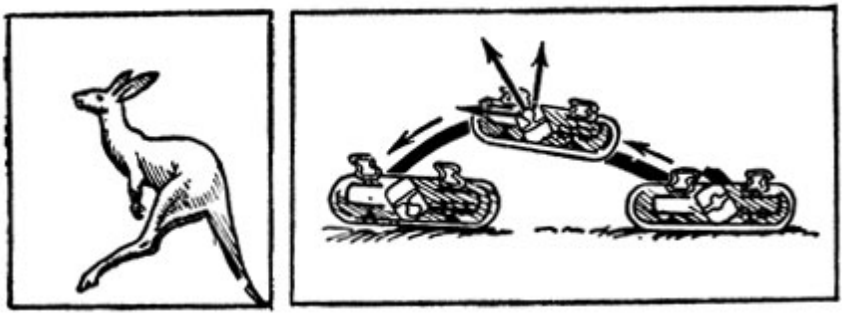


Рис. 2. Кенгуру и схема перемещения прыгающего автомобиля

У любителей автомобильного спорта и шоферов-профессионалов есть давняя мечта — сесть за руль машины, которая с одинаковой легкостью мчалась бы по шоссе и грунтовой дороге, пересекала бы болота и пески, переносилась бы через канавы и овраги, ручьи и реки... Над осуществлением этой мечты уже не первый год работают ученые и конструкторы ряда стран. И вот, сравнительно недавно, известный инженер В. Турик разработал конструкцию первого в мире бесколесного прыгающего автомобиля. Идею этого изобретения В. Турику подсказал... кенгуру!

Да, да! Мы не оговорились, обычный кенгуру, каких немало водится в Австралии. Этих животных природа приспособила к быстрому бегу прыжками на задних конечностях. У крупных кенгуру длина прыжков достигает 10 м, высота — 3 м. Этих сумчатых млекопитающих практически не догонит ни одно из умеющих бегать животных, они могут даже поспорить с некоторыми автомобилями. И вот еще одна любопытная и чрезвычайно важная деталь: перемещаясь прыжками, кенгуру сохраняет очень высокую маневренность. Все специфические особенности "прыжкообразного" движения кенгуру нашли свое отражение в предложенной В. Туриком конструкции автомобиля-прыгуна (рис.2).

Новая машина может совмещать в себе одновременно функции трактора, автомобиля и тягача. При движении она не образует колею. И, наконец, самое главное — ей не нужна дорога. По высокой проходимости автомобиль-кенгуру можно сравнить лишь с будущими "автолетами". И хотя прыгающий автомобиль еще не создан, можно не сомневаться в том, что новый принцип движения найдет в ближайшее время успешное применение.

Одним из интересных и перспективных направлений современной бионики является разработка шагающих вездеходов. Над их созданием сейчас работают инженеры ряда стран, хотя

идея построения таких систем сама по себе не нова.

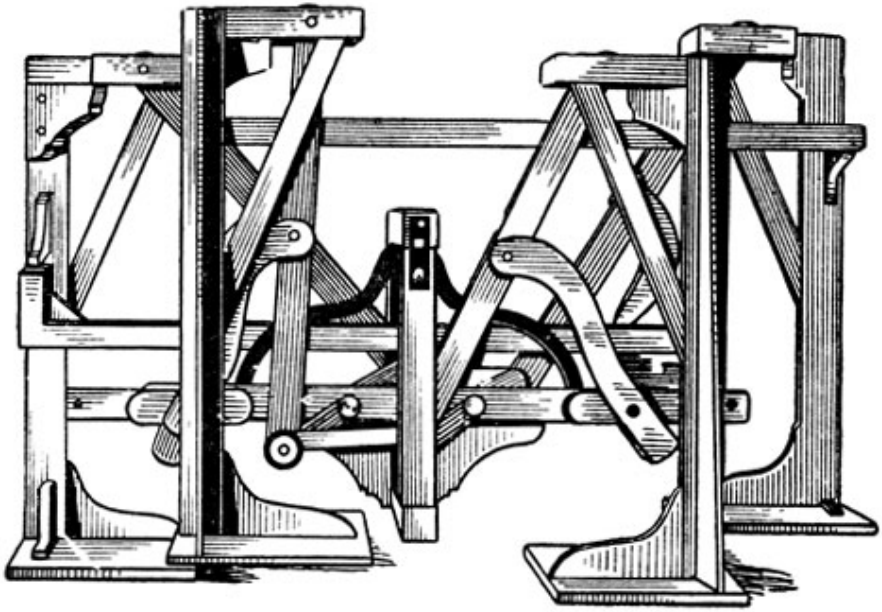


Рис. 3. 'Стопоходящая машина' П. Л. Чебышева

В конце прошлого века гениальный русский ученый П. Л. Чебышев построил "переступающую машину".

Модель оригинального механизма состоит из четырех, похожих на греческую букву "ламбда", ног. Механические ноги (только они и показаны на рис. 3) соединены так, что их кривошипы образуют обыкновенный параллелограмм, в углах которого находятся шарниры. Каждая нога "стопоходящей машины" — так назвал свое изобретение автор — представляла собой копию ноги кузнечика. Стоило рукой переместить корпус "стопохода" вперед или назад, как машина приходила в движение. Четыре ноги "стопохода" перемещались попарно: вторая с четвертой и первая с третьей. Внешне похожий на плоского кузнечика, "стопоход" шагал...

Однако "стопоходящая машина" не получила практического применения при жизни ее создателя. Не был реализован также патент на шагающий механизм, полученный незадолго до Октябрьской революций двумя талантливыми русскими изобретателями П. Орловским и Н. Гусевым.

Почему же теперь, спустя несколько десятилетий, инженеры вновь вернулись к изобретению П. Л. Чебышева, к патенту П. Орловского и Н. Гусева? Все дело в том, что практика требует создания все новых и новых конструкций вездеходов для работы в

труднопроходимых местностях, в горах, песках, снегах, на болотах. Так уже бывало не раз, когда ученые, сталкиваясь с новыми сложными проблемами, возвращались к давно забытым идеям и изобретениям.

Американцы, например, стремятся использовать принципы ходьбы в машинах, предназначенных для военных целей. Над решением этой задачи по контракту, заключенному с Техническим управлением бронетанковых войск США, в настоящее время работает большая группа специалистов. Первый опытный образец бесколесной шагающей машины был создан учеными Мичиганского университета шесть лет назад. У него 8 ног, по 4 с каждой стороны. Ноги машины смонтированы на соединяющем брусе, который Чебышев называл корпусом. Концы ног соединены с лыжами. В сущности, это кривошипно-шатунный механизм, очень похожий на "стопоходящую машину". Разница заключается лишь в том, что великий русский механик и математик при создании своего "стопохода" был более дальновидным и предусмотрительным, нежели американские разработчики шагающей машины. При испытаниях опытный образец американской машины трясло и раскачивало, как корабль в сильный шторм. Причиной этого были возникшие в машине крутящие моменты и инерционные силы, которые конструкторам не удалось сбалансировать.

По-иному подошел к созданию шагающей машины инженер Юлиус Макерле. Он решил "научить" автомобиль ходить подобно тому, как это делает человек. На первый взгляд такая идея может показаться несостоятельной, ибо уже давно известно, что шагающая машина, точно повторяющая шагающий механизм человека, экономически невыгодна при больших скоростях передвижения. Совершая шаг, нога делает движение, похожее на качание маятника. Она получает ускорение и затем тормозится. Расчеты показывают, что до $^3/_4$ энергии, расходуемой на шагание, затрачивается в фазе торможения.

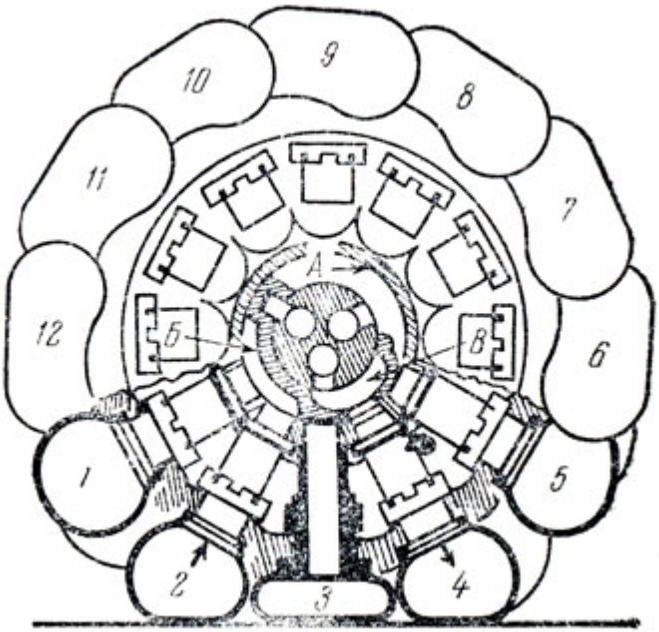


Рис. 4. Шагающее колесо. А — втулка колеса, в которой перемещается золотник, распределяющий давление воздуха в камерах. Б — полость золотника, обеспечивающая сообщение камер 1 и 2 с атмосферой. В — полость золотника, по которой воздух под давлением идет от компрессора в камеру 4

Однако для процесса ходьбы характерна одна важная особенность. Она заключается в том, что при каждом шаге нога отталкивается от земли в точке, находящейся несколько позади центра тяжести тела. В результате человек падает вперед до тех пор, пока он не выставит вперед другую ногу. Эта особенность и натолкнула Юлиуса Макерле на мысль создать так называемое "шагающее колесо".

Шагающее колесо имеет на своем ободе большое число пневматических камер. Давление воздуха в них непостоянно, и все они связаны с компрессором, который, изменяя давление в камерах, заставляет колесо перемещаться. Как это происходит, легче всего понять с помощью схемы, изображенной на рис. 4. Вкратце вся идея действия этих камер сводится к тому, что камера, находящаяся за точкой касания колеса с грунтом, раздувается воздухом таким образом, что колесо опирается на нее. При этом возникает такой же опрокидывающий момент, как и при ходьбе человека.

Двигателем машины с таким колесом служит агрегат, состоящий из мотора и компрессора. Раздувание камеры,

находящейся позади точки касания колеса, сопровождается одновременным сжиманием камеры перед этой точкой, причем общий объем воздуха во всех камерах остается практически неизменным. Скорость вращения колеса прямо пропорциональна числу оборотов компрессора, иначе говоря, скорости подачи воздуха в раздуваемые камеры. Чем быстрее они будут наполняться, тем скорее будет перекатываться колесо.

Испытания опытной модели нового двигателя показали, что принцип, положенный в его основу, практически вполне себя оправдал. При избыточном давлении в 0,3 кг/см^2 модель весом 4,3 кг передвигалась довольно успешно даже с дополнительной нагрузкой в 10 кг. Модель свободно преодолевала довольно серьезные для ее размеров препятствия и легко шла по очень плохим (с точки зрения автомобилиста) дорогам, например по глубокому песку.

Разумеется, маловероятно, что такое колесо появится на обычном автомобиле, однако на специального вида машинах, например строительных, экспедиционных, военных — словом, там, где необходимо иметь высокую проходимость и маневренность, шагающее колесо, несомненно, найдет широкое применение.

На очереди у творцов транспортных машин еще одна задача. Речь идет о том, что рано или поздно человек начнет осваивать пока еще загадочные просторы нашего древнего спутника — Луны, и для этого ему, естественно, понадобятся транспортные средства. Как же будут выглядеть транспортные машины, которые возьмут с собой лунные экспедиции?

Проектов лунных вездеходов разработано много. Предложено несколько вариантов танкеток на гусеничном ходу. Запроектированы лунные экипажи на квадратных и овальных, а также на гибких колесах. Существует проект настоящего механического монстра — трехосной машины на гигантских шарообразных колесах. Такие колеса, по мнению изобретателей, должны легко катиться по лунному "бездорожью". Имеется проект вездеходов в виде двойной винтовой спирали — так называемого винта Архимеда, — которая должна ввинчиваться в почву для передвижения по лунной поверхности. Наконец, разработан проект скачущего джипа — небольшой ракетной повозки, передвигающейся гигантскими скачками длиной в несколько десятков километров каждый.

Все эти проекты были разработаны с учетом существовавшей до последнего времени гипотезы, согласно которой поверхность Луны покрыта толстым слоем пыли. Однако результаты изучения лунных фотографий такое предположение не подтвердили, хотя

возможность существования пылевых слоев в некоторых районах Луны полностью исключить нельзя. Детальный анализ снимков свидетельствует о сложной структуре лунной поверхности. Вероятно, наружный слой лунной породы толщиной в несколько сантиметров представляет собой интенсивно взрыхленное вещество. Оно покрывает практически всю поверхность Луны. Его шероховатая, сильно изъеденная структура напоминает начавший таять грязный весенний снег. Этот слой неоднороден. Вместе с мельчайшими частицами размерами в доли миллиметра встречаются более крупные куски пород сантиметровой и дециметровой величины. По подсчетам ученых, несущая способность поверхностного слоя Луны равна 1 — 10 кг/см^2, что составляет примерно $^1/_{100}$ — $^1/_{1000}$ несущей способности массивной базальтовой породы. Из этих расчетов следует, что поверхность Луны достаточно прочна.

Учитывая новые данные о лунной поверхности, добытые за последние годы советскими и американскими автоматическими станциями, многие специалисты ныне все больше склоняются к мысли, что лунные вездеходы следует ставить не на колеса, а на ноги в самом прямом, буквальном смысле этого слова. Ноги лучше колес. Не повсюду, конечно, но в горах, в песках, среди ледовых торосов они убедительно доказали свое преимущество. Оправдают они себя и на Луне.

У кого же поучиться конструированию шагающей техники, с которой придется работать в необычайно трудных "лунных условиях"?

И снова беспокойная, вечно ищущая мысль человека обращается к живой природе. К кому же именно?

Не так давно внимание ученых привлек обыкновенный паук. Их заинтересовало, как этот представитель членистоногих ходит и довольно быстро бегает, имея длинные лапки, практически лишенные мышц.

Какая же сила движет лапки паука? Зоологи Кембриджского университета Парри и Браун установили, что эта движущая сила имеет гидравлическое происхождение. Значит, движение лапок паука осуществляется посредством своеобразного "гидравлического привода", жидкостью для которого служит кровь.

Произвели киносъемку и с ее помощью установили, что природа действительно наградила пауков чудесным гидроприводом. Если паук вытягивает лапки, гидропривод повышает в них давление крови до такой степени, что отвердевают их щетинки, и, наоборот, при сгибании конечностей гидропривод уменьшает в них давление крови.

В состоянии покоя давление крови в организме паука, как показали произведенные замеры, лишь на 0,05 атм выше давления окружающего воздуха. Но в момент прыжка животного оно мгновенно повышается на 0,5 атм! "Искусственная гипертония" служит тем источником энергии, которая позволяет пауку ставить "мировые рекорды" в прыжках. Так, например, европейские пауки-прыгуны берут высоту, превышающую в десятки раз (!) размеры их тельца.

Итак, уникальный гидропривод паука — это та биологическая система, которая может послужить образцом для создания компактного, легко управляемого, неприхотливого в эксплуатации лунного вездехода повышенной проходимости и маневренности. Большая скорость для лунной экспедиционной машины ни к чему, здесь важно другое — уверенное прохождение по любой местности. Длинные голенастые ноги будущего "лунного паука" нигде не увязнут, легко перешагнут трещины, одолеют самые крутые подъемы. И еще одно очень важное качество такой космической машины — затраты энергии на преодоление больших расстояний будут невелики.

Можем ли мы сегодня точно воспроизвести гидросистему паука? Пока нет, ибо ни биологи, ни инженеры не знают самого главного — каким образом пауки добиваются мгновенного изменения кровяного давления, как они автоматически регулируют его в сосудах. Но первый практический шаг на пути к созданию такой искусственной системы уже сделан.

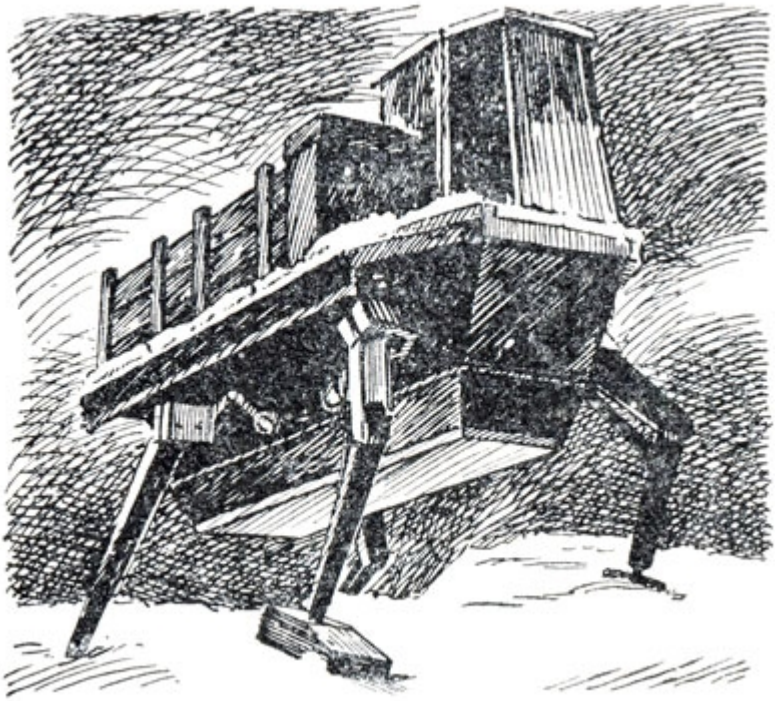


Рис. 5. Экспериментальный 'лунопроходец'

По сообщениям американской печати, одна фирма в прошлом году разработала проект машины, которая по внешнему виду и способу передвижения напоминает паука. "Металлический паук", которого мы видим на рис. 5, имеет четыре шарнирные "ноги" длиною более 2 м каждая. "Ноги" несут кабину, в которой находится человек. Водитель с помощью рычагов, прикрепленных к его рукам, ногам и торсу, управляет перемещением кабины. При этом он пользуется услугами серводвигателей, которые точно воспроизводят все его движения и увеличивают прилагаемую мышечную силу во много раз. Ноги водителя управляют "задними ногами" "металлического паука", руки — его "передними ногами". При остановке машина "становится на колени", опуская кабину на грунт. Чтобы стать водителем "металлического паука", не нужны курсы — таким шоферам достаточно пятиминутного обучения.

Такая машина будет, как полагают ее создатели, идеальным средством для передвижения по бездорожью Луны или других планет. Груз в 200 кг она сможет переносить по пересеченной местности со скоростью около 10 км/час. Способность передвигаться на согнутых ногах очень расширит приспособительные возможности "лунного паука". Он сможет легко преодолевать подъемы в 45°, в наиболее труднопроходимых

местах идти лучше собачьей упряжки, не говоря уже об обычных вездеходах, а тем более о колесных машинах. Пока создана только упрощенная модель шагающего лунного вездехода. Ей еще очень далеко до такой совершенной биологической системы, какой является паук. Но когда бионики познают тайну механизма гидропривода паука и воплотят ее в металл, шагающий вездеход станет замечательным помощником космонавтов в исследованиях неизвестных нам миров.

Попробуем представить себе, как будет выглядеть будущий "лунный паук" — вездеход. Кабина космонавтов герметична и имеет отсек, служащий шлюзом для выхода космонавтов на поверхность Луны. С помощью специальных манипуляторов космонавты могут доставать образцы пород с поверхности Луны, не покидая кабины. Для непосредственных наблюдений за лунной поверхностью передвижная лаборатория снабжена двумя окнами. Из-за отсутствия на Луне рассеянного света предметы, находящиеся в тени, остаются невидимыми. Поэтому "лунный паук" оснащен мощными прожекторами. В системах управления и навигации лаборатории широко используется телевизионная система. С ее помощью будут проводиться исследования лунной поверхности. Но самое главное — ученые наземного центра управления лунной экспедицией смогут видеть на экранах телевизоров то же, что видят космонавты, и смогут контролировать их работу, а в случае необходимости — давать советы относительно маневров лаборатории, исследования различных объектов и т. д.

Подвижная лаборатория, согласно существующим проектам, будет доставлена на Луну заблаговременно (до высадки космонавтов) непилотируемым космическим аппаратом. Лунная кабина с космонавтами на борту совершит впоследствии посадку вблизи лаборатории; при помощи дистанционного управления последнюю приблизят к лунной кабине, и космонавты перейдут в нее.

Теперь — за работу.

Луна создана из того же "теста", что и Земля, из тех же химических элементов. И недра ее таят колоссальные запасы полезных ископаемых. Лунные геологи откроют богатые месторождения серы в трещинах вулканов. Там возможны скопления вулканических пород, богатых свинцом, цинком, хромом и другими промышленно ценными элементами. Размеры нашего соседа достаточно внушительны, и надо полагать, что в его недрах сформировались и алмазы. Когда-нибудь огромный лунный бриллиант заблестит в руках космонавта-геолога...

Вместе с будущими исследователями Луны и других планет

от бионików ждут новых машин и покорители "космоса № 2" (так иногда называют земные недра).

Общеизвестен миф, согласно которому при дележе вселенной между богами подводное царство досталось Нептуну, подземное — Плутону. У входа в свои владения сумрачный Плутон поставил громадного трехглавого пса Цербера. Свирепый страж должен был оберегать от простых смертных тайны обиталища теней. Но не тут-то было. Нашелся смельчак — это был знаменитый силач Геркулес, — который победил страшное чудовище и вступил в единоборство с Плутоном. В этом античном мифе отражены наивные представления той эпохи о таинственном мире, расположенном у нас под ногами, и мечты о его покорении человеком.

Минули тысячелетия. На смену мифам, легендам и сказкам пришли научные представления геологии и геофизики. В поисках угля и урана, золота и алмазов человек с помощью построенных им машин вдоль и поперек изрыл покров царства Плутона гигантскими коридорами. Все глубже и глубже ввинчиваются в землю стальные сверла, снабженные алмазными "зубами". Более далекие от поверхности складки земной коры геофизики инспектируют волнами искусственных землетрясений, отзвуки которых воспринимаются чувствительными приборами — сейсмографами. Изучение выброшенных вулканами газов, паров и лавы, определение их состава и относительного содержания разных химических элементов дополняет наши сведения о строении земных недр. И тем не менее подземный мир до сих пор окутан покровом таинственности.

Что мы знаем о резиденции Плутона? В сущности, очень мало. Спустившись на дно глубочайшей шахты мира, вы очутитесь всего в 2,5 км от поверхности земли. Втрое глубже удалось проникнуть бурильщикам нефтяных скважин. Таким образом, в масштабах нашей планеты досконально изученный слой земной коры не превышает по своей толщине слоя краски на глобусе. А дальше — неизвестность. "Космос № 2" — пока еще белое пятно в науке.

Не потому ли писатели-фантасты так оседлали неисчерпаемую тему покорения "подземного космоса"? Они давно уже пробурили Землю насквозь во многих местах с помощью "ракеты-бура" (раскаленной струи газа с температурой более 3000° Ц), специальных ампул со взрывчаткой, подземохода с атомным реактором и т. п.. Однако в реальной жизни дело с землепроходными машинами обстоит несравненно хуже, чем на страницах научно-фантастических романов и повестей.

Подавляющее большинство применяемых ныне

землепроходных машин не удовлетворяет потребителей своей производительностью, эксплуатационной надежностью и другими параметрами. Можно без преувеличения сказать, что землепроходных машин, достаточно простых, удобных и прочных, к сожалению, пока еще нет. Они существуют лишь в живой природе. Здесь, если внимательно присмотреться, можно увидеть не одну "землеройную машину", доведенную в процессе эволюции после многовекового отбора до самой высокой степени совершенства. Эти живые "землеройные машины" и служат ныне объектом изучения бионики.

Для копирования в технических системах наибольший интерес представляют приспособления, которыми снабжены личинки почвообитающих насекомых для прокладывания ходов в почве. Природа наделила их хорошо развитым аппаратом для рыхления или раздвигания частиц грунта и специальными приспособлениями для фиксации положения тела.

У одних видов рыхлящие органы располагаются на переднем конце тела и работают как клин и отбойный молоток (при этом отгребание измельченного субстрата осуществляется другими органами); у других — рыхлящий и отгребающий аппараты объединены в систему типа сложного скребка, действующего как одно целое, что характерно для личинок и ряда насекомых с гипогнатическим расположением ротового аппарата, а также для личинок, обитающих в почве или древесине (роль скребка у них играет ротовой аппарат и нижняя поверхность головы). Раздвигание частиц грунта производится либо гидравлическим способом, либо с помощью расширенных, ножницеобразно двигающихся челюстей; функции опорных приспособлений для фиксации положения тела выполняют либо одно или два острия, расположенных на заднем конце тела в плоскости приложения сил рыхлящего аппарата, либо значительное число подушковидных образований, покрытых множеством мелких шипов (эти образования тесно прижимаются к стенкам хода, точно повторяя их неровности).

Тщательное изучение приспособлений, которыми снабжены личинки насекомых для прокладки ходов в почве, и их моделирование может оказать большую помощь при создании новых рыхлящих и движущихся под землей агрегатов (угольные комбайны, приспособления для кротового дренажа и др.).

Приведем еще один пример возможного моделирования оригинальной живой "землеройной машины". Речь идет о копировании весьма совершенного способа передвижения во влажном грунте червей приапулид. Эти крошечные беспозвоночные животные (длиной 10 — 15 мм), живущие

неглубоко под морским дном, являются непревзойденными мастерами по прокладке каналов. В своих "туннельных работах" они используют преимущественно гидравлический способ передвижения. Основным буровым инструментом приапулид служит короткий и мощный, похожий на усеянный шипами кактус, выбросной хоботок (на нем размещено более 1500 шипиков). Тело червя снабжено небольшим количеством продольных и кольцевых мышц, а также специальными механизмами, препятствующими обратному движению приапулид в грунте. Технология прокладки туннеля такова. Упираясь в грунт, червь при помощи шипов хоботка пробивает во влажной почве ход, поначалу тонкий. Затем хоботком, раздувающимся поступающей из тела жидкостью, приапулида расширяет и обжимает ход. Расширив и обжав отверстие, червь подтягивается. В это время хоботок сжимается, убирается внутрь, и начинается следующий цикл проходки. При таком передвижении червь обнаруживает большую двигательную силу, в десятки раз превышающую его собственный вес. Ученые подсчитали, что червячок весом до 2 г развивает усилие, в 40 раз (!) превышающее его собственный вес. И вот еще что весьма любопытно. Зоологи полагают, что, вонзив с силой свой хоботок во влажный морской грунт, червь затем поворачивает хоботок на некоторый угол. Таким образом, хоботок с насаженными на него многочисленными шипами работает, как бур.

Ну разве не достойна подражания такая великолепная "гидравлическая машина" для прокладки каналов в грунте? Ведь ее механизм природа оттачивала веками!

Не останутся, конечно, бионики в стороне и от решения такой увлекательной проблемы, как создание подземного корабля для путешествия к центру Земли, для поисков неразведанных богатств — руд, нефти, алмазов. Недавно оригинальную конструкцию "подземо-хода" разработал советский инженер А. Требелев. При расчете своей машины он всесторонне изучил методы "работы" крота — признанного рекордсмена подземных проходок. Модель "железного крота" успешно прошла первые испытания.

Многое могут позаимствовать у природы и судостроители, это поможет им в коренном усовершенствовании существующих и создании новых средств водного транспорта. Ведь ни для кого не секрет, что под натиском более скоростных соперников водный транспорт постепенно утрачивает свои былые позиции. Достаточно сказать, что даже на трансконтинентальных линиях, где еще совсем недавно он считался монополистом, сегодня почти 65% пассажиров отдает, предпочтение авиации и лишь

оставшиеся 35% путешествуют на борту океанских лайнеров. Это — закономерное явление: в то время как реактивные самолеты несут пассажиров со скоростями 800 — 900 км/час, могучие корабли меряют океан с "черепашьими" скоростями 50 — 60 км/час. Хороший клипер XIX века мало уступает по скорости самому современному океанскому лайнеру! И всему виной огромное сопротивление, которое испытывают погруженные в воду корпуса судов.

По мере роста скорости это сопротивление увеличивается сначала пропорционально ее квадрату, но затем растет быстрее — пропорционально третьей, четвертой и даже пятой степени скорости. Здесь уже нельзя говорить о борьбе за скорость путем увеличения мощности двигателей: для этого двигательная установка должна была бы занимать весь корабль. Правда, благодаря появлению подводных крыльев, поднявших корпуса судов над водной поверхностью, судостроителям удалось преодолеть заветный рубеж крейсерской скорости на воде, равный 100 км/час. Но корабли на подводных крыльях не до конца избавлены от контакта с водой, а главное, по мере роста размеров судов они заметно утрачивают свои высокие качества.

Неужели же ученые бессильны вырвать корабль из плена воды, победить в единоборстве со стихией, оказавшейся самой неподатливой? Нет, не бессильны!

Изучив особенности строения многих обитателей морей и океанов, обеспечивающие им высокие гидродинамические качества, человек может положить в основу конструкции различных плавающих аппаратов новые принципы. Сошлемся на факты.

После длительных наблюдений и исследований японский ученый профессор Тако Инуи сначала предположил, а затем опытным путем на специально изготовленной модели пассажирского парохода "Куренаи Мару" доказал, что грушеобразная форма головы кита более приспособлена к перемещению в воде, нежели ножевидная форма носовой части современных судов. Этим открытием не замедлили воспользоваться кораблестроители. Они построили океанское судно, напоминающее по своей форме кита. Первые же испытания показали, что по сравнению с обычными судами китообразный корабль весьма экономичен. Мощность его двигателей на 25% меньше, а скорость и грузоподъемность те же!

А вот еще один не менее поучительный пример. Одна из американских подводных лодок носит название "Скипджек". Форма корпуса подводной лодки в точности такая же, как у тунца (рис. 6). Конструкторам удалось добиться хорошей обтекаемости

корпуса лодки и значительно повысить ее скорость, а главное — создать очень поворотливое судно. (Поворотливостью называют способность судна к быстрому изменению направления. Это очень важное свойство: ведь большому кораблю для разворота требуется описать полуокружность с радиусом по крайней мере в 4 — 5 длин корпуса.)

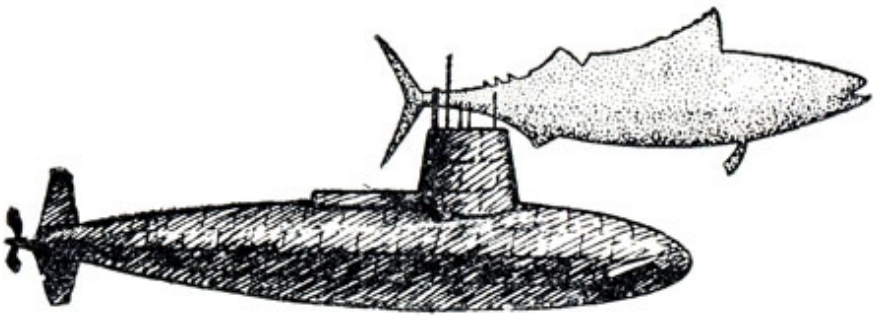


Рис. 6. Американская подводная лодка 'Скипджек'. Форма корпуса подводной лодки точно такая же, как и у быстроходной рыбы тунца

Очень часто мы говорим: "плавает, как рыба". Однако это определение весьма неточно, потому что рыбы плавают по-разному. Угри и миноги, например, большой скорости не развивают. Лучшими пловцами среди рыб считаются жители открытых морских просторов — лосось, акула, тунец, скумбрия. Лосось плывет со скоростью 5 м/сек (18 км/час), скорость акул равна 36 — 42 км/час. Не уступают им в скорости и некоторые морские млекопитающие. Кит, в частности, свободно плывет со скоростью 40 км/час. Но все эти рекорды побивает рыба-меч. С завидной легкостью она может развивать скорость, достигающую 130 км/час.

Откуда у рыбы такие силы? Или, быть может, здесь дело не столько в силе, сколько в особом умении?

Эту загадку пытался разгадать не один ученый в течение последних 40 — 50 лет. Были проделаны сотни экспериментов, но проверить, наглядно зафиксировать механизм движения рыбы в воде, установить характер образующихся водяных потоков, вычислить сопротивление, испытываемое движущейся в воде рыбой, силу тяги и мощность, развиваемые ею, так никому и не удалось. Общепризнанным до последнего времени было лишь одно — рыбы передвигаются под водой за счет движений хвоста и отчасти плавников.

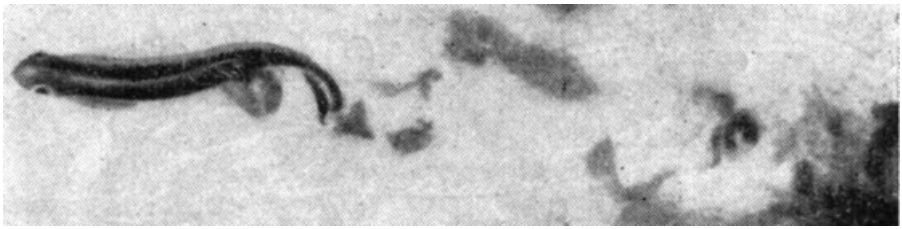


Рис. 7. Завихрения жидкости, вызываемые перемещением в ней рыбы

И вот совсем недавно секрет скоростного перемещения рыб раскрылся самым неожиданным образом. По сообщению журнала "Мэшин Дезайн" был поставлен такой опыт. Рыб пустили в аквариум, наполненный не водой, а молоком. Молоко позволило проследить движения рыбы, возмущения жидкости, вызываемые перемещением в ней рыбы (рис. 7). Было установлено, что при каждом ударе хвоста образуется некоторое возмущение жидкости у жабр, а никак не у хвоста рыбы, как думали раньше. Но это еще не самое главное. Оказывается, что основная "движущая сила" возникает при колебательных движениях туловища рыбы. Животное скользит вдоль пришедших в движение слоев жидкости, и они на глазах превращаются в маленькие "водовороты" — завихрения с вертикальной осью вращения. Когда рыба скользит мимо этих возмущений, они закручиваются еще сильнее и увеличиваются в размере. Когда хвост рыбы по касательной проносится по завихрению, рыба как бы вбирает в себя всю накопившуюся там кинетическую энергию вращения. Создается впечатление, будто рыба плывет, отталкиваясь от водоворотов, что завихрения как бы выталкивают ее вперед. Правильность этих предположений была проверена еще на одном простом, но весьма остроумном опыте. Известно, что, если пойманную в реке рыбу бросить на берег, она будет подпрыгивать и биться о землю. Но вот вбили в доску два ряда гвоздей на одинаковом расстоянии друг от друга и положили рыбу между ними (рис. 8). И она "поплыла" посуху(!), отталкиваясь корпусом и хвостом от гвоздей, словно от водоворотов. Сходство прямо-таки поразительное!

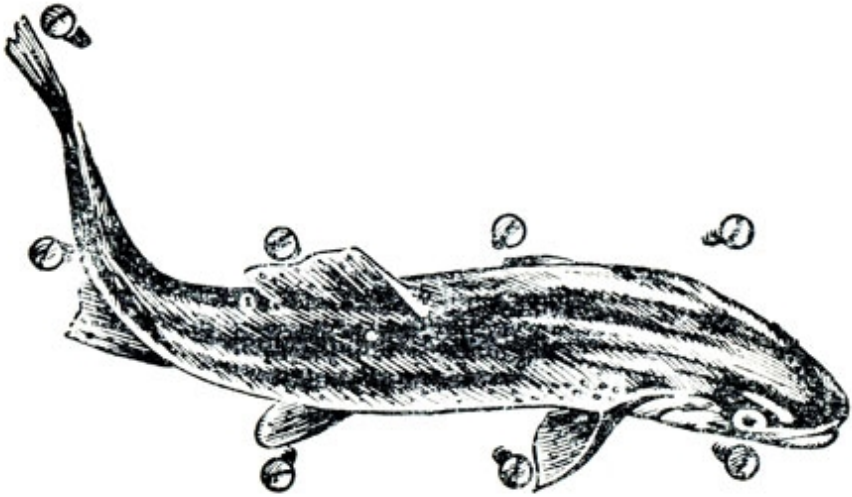


Рис. 8. Форель 'плывет' по доске, в которую в определенном порядке вбиты гвозди. Телом и хвостом рыба упирается в гвозди совершенно так же, как она 'опирается' в воде на завихрения

Ученые полагают, что установленные ими факты могут оказаться весьма полезными при конструировании кораблей. Уж очень заманчива перспектива создания судов, особенно подводных, способных двигаться в воде с легкостью рыбы. Эта проблема сейчас волнует не только кораблестроителей и гидродинамиков, но и биологов, биофизиков и биохимиков. Эта сложная и интересная задача увлекла и математиков.

Однако многие специалисты утверждают, что подводный аппарат, использующий принцип плавания рыб, не сможет развивать скорость, большую 30 узлов[1]. Опыты показали, что при любой попытке плыть быстрее коэффициент полезного действия плавательного аппарата начинает катастрофически падать.

Как же быть? Выход из тупика подсказал дельфин.

Вы, вероятно, не раз, находясь на отдыхе у моря, видели, как быстро мчатся в волнах стаи дельфинов, развивая порой скорость до 30 узлов, т. е. примерно до 56 км/час. Долгое время ученые и инженеры не могли понять, каким образом дельфинам удается развивать столь большую скорость и без видимого усилия сопровождать быстроходные корабли в течение многих часов и даже дней, ни на шаг не отставая от них. Английский исследователь Грей установил, что для достижения скорости 30 узлов мышцы дельфинов должны быть примерно в 7 — 10 раз мощнее, чем на самом деле... За тщательные экспериментальные и теоретические исследования гидродинамического секрета

дельфина принялись советские ученые под руководством академика В. В. Шулейкина. Еще в 1936 г. В. В. Шулейкин, В. С. Лукьянова и И. И. Стей на заседании Отделения математических наук Академии наук СССР сделали доклад о своих изысканиях, проводившихся в специальной башне. Ученые вывели формулы движения одиночного животного и целой стаи и установили, что при движении тело дельфина испытывает меньшее сопротивление со стороны воды, чем тело других обитателей моря. Они провели буксировочные испытания в бассейне и замерили сопротивление воды движению на модели. И тогда ученые столкнулись с почти необъяснимым законами механики фактом: точно воспроизведенная по весу и форме тела модель дельфина, которой сообщалась равная тяга, передвигалась по воде гораздо медленнее, чем живой дельфин.

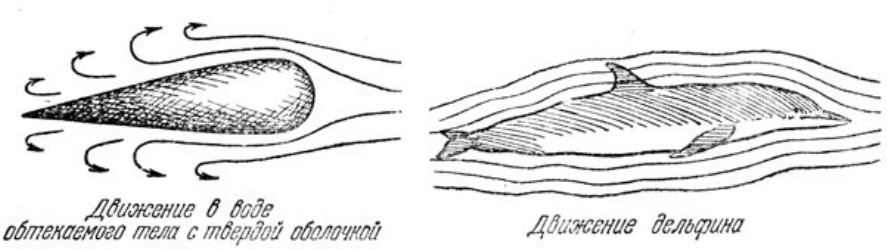


Рис. 9. Движение в воде обтекаемого тела с твердой оболочкой и движение дельфина

Позднее было замечено, что вокруг движущегося дельфина возникает лишь незначительное струйное (ламинарное) течение, не переходящее в вихревое (турбулентное), а плывущая подводная лодка, сходная по форме с дельфином, вызывает высокую турбулентность (рис. 9). На преодоление сопротивления воды при наличии турбулентности тратится около $^{9}/_{10}$ движущей силы лодки.

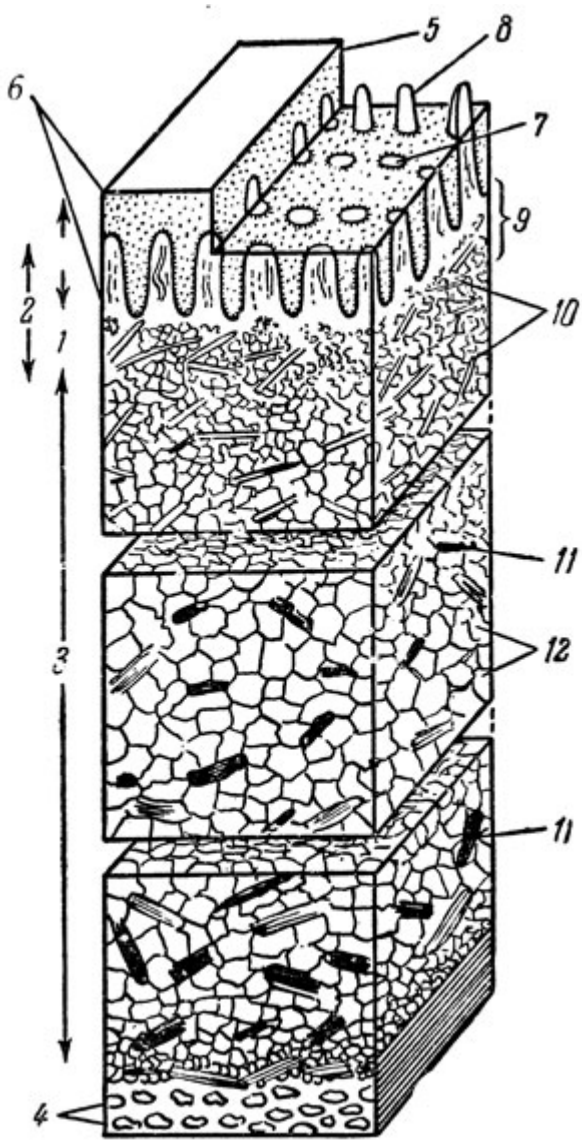


Рис. 10. Разрез дельфиньей кожи (схема). 1 — эпидермис; 2 — дерма; 3 — жировой пласт; 4 — подкожная мускулатура; 5 — верхний роговой слой эпидермиса; 6 — ростковый слой эпидермиса; 7 — ячейки росткового слоя; 8 — шиловидные сосочки дермы; 9 — подсосочковый слой дермы; 10 — пучки коллагеновых волокон; 11 — пучки эластиновых волокон; 12 — жировые клетки (по В. А. Соколову)

В чем же все-таки секрет необычайно высокой скорости движения дельфина? Оказывается, вся тайна "антитурбулентности" этого животного заключена в структуре его кожи (рис. 10). Эпидермис кожи очень эластичен (по своим

свойствам он напоминает лучшие сорта автомобильной резины) и, как показали микроскопические исследования, состоит из двух слоев: тонкого наружного и лежащего под ним росткового, или шиповидного. В ячейки росткового слоя снизу по одному входят упругие сосочки дермы, напоминающие зубцы резиновой щетки для чистки замшевой обуви. Эпидермис и сосочки дермы сильнее развиты в тех местах, где ощущается большее давление воды при поступательном движении: в лобной части головы, на передних краях плавников и т. д. Ниже сосочков дермы располагается густое сплетение коллагеновых и эластиновых волокон, пространство между которыми заполнено жиром. Такое строение кожного покрова не только защищает организм дельфина от потерь тепла и повышает силу сцепления эпидермиса с дермой, но и действует, как превосходный демпфер, который вносит затухание в поток и предотвращает развитие турбулентности и срыв потока. Демпфирование достигается тем, что весьма эластичные жировые клетки подкожного слоя способны менять под давлением свою форму и затем восстанавливать ее. Кроме того, отличная буферность кожи достигается упругостью коллагеновых и эластиновых волокон.

Благодаря всем этим свойствам кожи поток, обтекающий тело дельфина, даже при большой скорости движения остается ламинарным, завихрения в нем не возникают. Этот принцип ламинаризации обтекающего потока воды ученые назвали "стабилизацией граничной поверхности распределенным гашением".

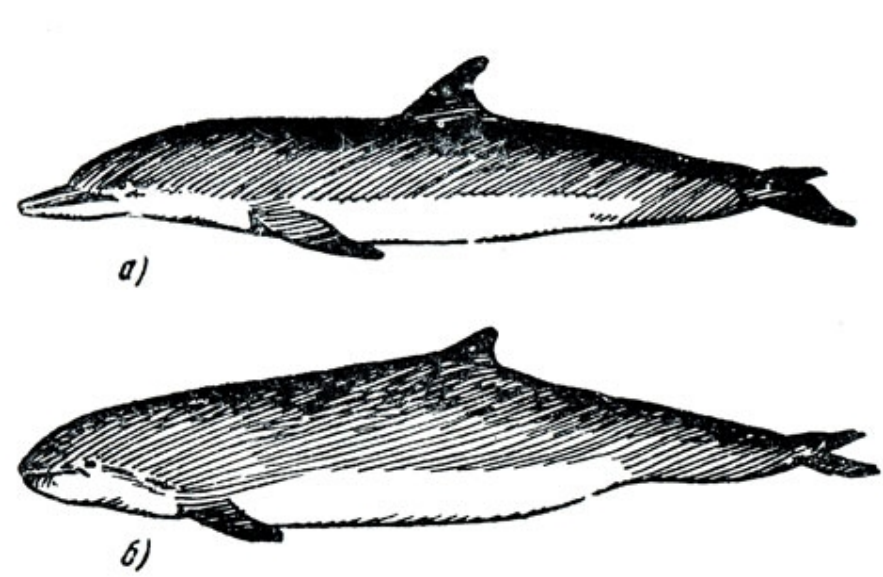


Рис. 11. Расположение гребней под тонким роговым слоем у

обыкновенного дельфина (а) и у морской свиньи (б) (по П. Пурвесу)

Вот что пишет по этому поводу А. Г. Томилин.

> "В 1963 г. английский зоолог Пурвес обратил внимание на расположение в коже китообразных дермальных гребешков, направленных вдоль струй потока. Для их изучения с поверхности кожи обыкновенного дельфина осторожно удаляли тонкую кожицу рогового слоя и рассматривали гребни под бинокулярной лупой. Оказалось, что на боках тела (кроме их нижней трети) гребни направлены косо вверх и назад под углом в 30° к продольной оси тела животного (рис. 11). На хвостовом стебле гребни были той же ориентации, что и на боках тела, а на грудных и спинном плавниках располагались горизонтально. Ученые предполагают, что расположение дермальных гребней в коже китообразных, способствует ламинаризации потока. У тихоходных морских свиней гребни располагаются иначе, чем у быстроходных дельфинов".

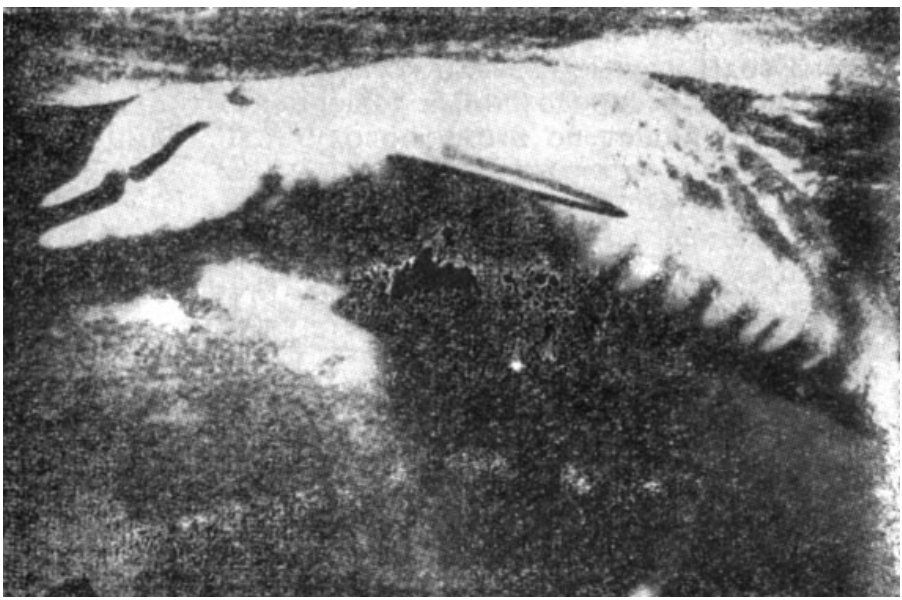


Рис. 12. В момент достижения дельфином критической скорости его кожа собирается в складки, которые сбивают вихревые потоки, возникающие вокруг движущегося тела (по А. Г. Томилину)

Ученые установили также, что на упругой коже китообразных и, в частности, дельфинов постоянно имеется тонкий слой специальной смазки, вырабатываемой особыми железами. Благодаря этому кожа дельфинов обладает гидрофобным, водоотталкивающим, свойством. Важность этого открытия для ряда областей инженерной практики и прежде всего для водного транспорта трудно переоценить. Дело в том, что гидрофобность способствует образованию в слое воды, ближайшем к поверхности движущегося тела, шарообразных структур из отдельных совокупностей молекул; поэтому гидрофобное тело при перемещении в воде как бы катится по шарикоподшипникам. А, как известно, трение качения значительно меньше трения скольжения.

Китообразные владеют еще одним чрезвычайно интересным способом уменьшения трения при своем движении. Речь идет о так называемом двигательном механизме кожи этих животных. Он вступает в действие тогда, когда дельфины достигают максимальной скорости и возникающие при этом вихревые потоки уже нельзя погасить ни антитурбулентными (демпферными), ни гидрофобными свойствами кожи. Именно в этот критический момент начинается волновое движение самого кожного покрова тела животного (рис. 12). Эти волнообразные складки кожи, пробегающие по туловищу дельфина (они были сфотографированы Ф. Эссапьяном во флоридском океанариуме), гасят вихри, возникающие при высоких скоростях, уменьшают силу трения в срединной и хвостовой частях тела животного и дают ему возможность легко мчаться даже в тесном стаде, в котором, казалось бы, вихревые потоки вокруг множества близко плывущих особей должны сделать невозможным стремительное передвижение всего стада.

Что же можно и что уже удалось позаимствовать инженерам из "конструкции" кожного покрова китообразных, чтобы достигнуть в судостроении "дельфиньего совершенства"?

В 1960 г. природный кожный покров дельфина послужил работающему в США немецкому инженеру М. Крамеру образцом для создания опытных демпфирующих покрытий твердых тел в целях снижения гидродинамического сопротивления трения. Первая мягкая оболочка — "дельфинья кожа", получившая название "ламинфло" (от слов "laminar flow" — ламинарное течение), была изготовлена сначала из двух, а затем из трех слоев резины общей толщиной 2,5 мм. Гладкий наружный слой (0,5 мм) имитировал эпидермис кожи дельфина; средний, эластичный, с гибкими стерженьками и демпфирующей жидкостью (1,5 мм) был аналогичен дерме с ее коллагеновой и жировой тканями, а

нижний (0,5 мм) играл роль опорной пластины. Демпфирующая жидкость при давлении сверху могла перемещаться в пространствах между палочками-стерженьками: она играла роль демпфера — гасителя вихрей в пограничном слое воды, ближайшем к корпусу модели (рис. 13).

Уже первые опыты с торпедой и катером, обшитыми мягкой оболочкой "ламинфло", принесли весьма ощутимые результаты — вызываемое турбулентностью торможение снизилось почти наполовину, скорость увеличилась вдвое! Эксперименты, начатые Крамером, продолжили ученые разных стран. Изменялись соотношения элементов покрытия: толщина слоев, размеры и расположение сосочков — стерженьков, вязкость промежуточной жидкости и т. д.

Результаты многочисленных испытаний подтвердили возможность снизить сопротивление воды на 40 — 60%.

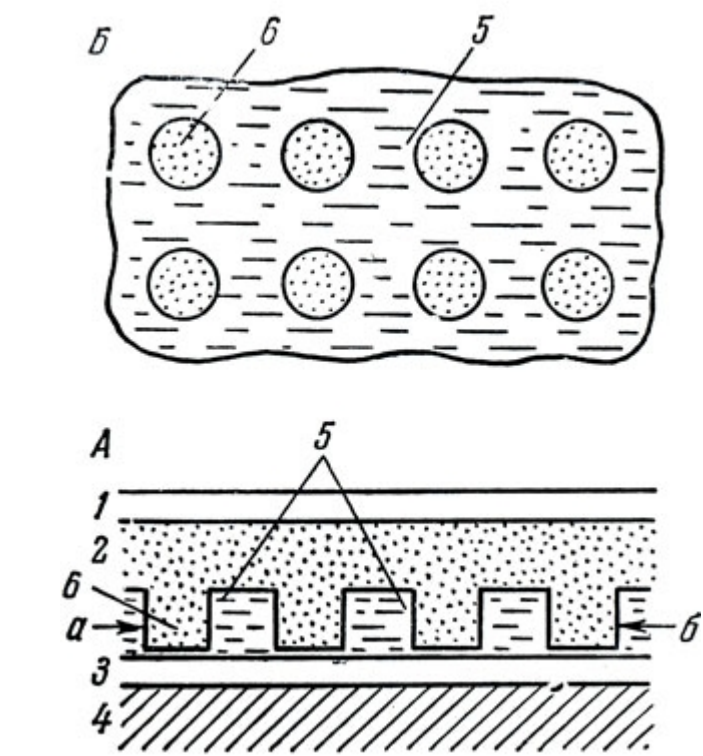


Рис. 13. Схема искусственной дельфиньей кожи — 'ламинфло'. А — боковой разрез, Б — разрез по линии аб. 1 — верхняя бесшовная оболочка; 2 — средний слой — эластичная диафрагма с гибкими стерженьками; 3 — нижняя бесшовная оболочка; 4 — корпус модели; 5 — пространство между стерженьками, заполненное демпфирующей жидкостью; 6 — гибкие стерженьки среднего слоя (по М. Крамеру)

Пока еще обшивка "ламинфло" очень далека от того совершенства, которое свойственно естественной коже дельфинов. В природных покровах быстро плавающих дельфинов демпфирование достигается тем, что мягкий жир под давлением эпидермиса и верхней части дермы перемещается в очень малых полостях между весьма упругими волокнами. Само демпфирование в покровах дельфинов осуществляется гораздо совершеннее, чем в искусственной коже "ламинфло", так как природный демпфирующий слой (дерма с сосочками и жировой пласт толщиной в несколько сантиметров) гораздо толще и состоит из более тонких капилляров. Однако продолжающееся изучение специфических особенностей кожи дельфина и непрерывно расширяющийся арсенал средств и возможностей современной химии позволяют надеяться, что со временем удастся создать мягкие синтетические оболочки, по своей структуре и упругости весьма близкие к природному образцу. И тогда подводные лодки, катера, морские и океанские лайнеры, облицованные искусственной дельфиньей кожей, приобретут невиданную ранее быстроходность.

Можно также полагать, что подобные амортизирующие оболочки будут эффективны не только при движении твердых тел в жидкой или газообразной среде (подводные лодки, самолеты), но и при транспортировке жидких, газообразных и даже твердых тел по трубопроводам. Недавно сотрудник Питтсбургского университета (США) Р. Пелт выстлал внутреннюю поверхность трубы материалом, имитирующим дельфинью кожу (роль дельфиньей кожи исполняло покрытие из уретановой смолы на полиэфирной основе), и измерил, насколько снизились потери давления при перегонке жидкости по этой трубе. Оказалось, что они уменьшились на 35%.

Таким образом, нехитрую трубу (если сделать ее достаточно длинной) можно превратить в самый экономичный вид транспорта. Здесь поток грузов может двигаться непрерывно, днем и ночью, без простоев, перегрузок и перевалок, без потерь на "усушку-утруску-усыпку". По трубопроводам, выстланным "дельфиньей кожей", можно будет на сотни и тысячи километров перекачивать воду, горючие газы, спирт, патоку, жидкие удобрения, всевозможные гранулы, смешанные с водой в пропорции "один к одному", кормовую пасту для поросят и коров, помидоры, картофель, фрукты и даже... живую рыбу...

Но вернемся к кораблям голубых дорог и посмотрим, чем еще может помочь бионика в повышении их быстроходности. Ведь в наше время, время стремительного увеличения скоростей в

авиации и невиданного ускорения всех наземных видов транспорта, морские и океанские суда, по сути, не затронуты этим всеобщим прогрессом скоростей, и нет сейчас более сложной и более жгучей проблемы на водных магистралях мира, чем повышение скорости пассажирских и грузовых кораблей. Это проблема проблем.

Бионические поиски показывают, что, помимо обшивки судов искусственной дельфиньей кожей, у природы можно позаимствовать еще один весьма эффективный способ повышения быстроходности судов.

А нельзя ли избавиться от волнового сопротивления? Можно, только для этого нужно уйти под воду. "Теоретические расчеты и опыты на моделях показали, — пишет контр-адмирал А. Родионов, — что подводный транспорт имеет ряд преимуществ перед надводным. Так, для подводного транспорта сопротивление воды меньше, чем для надводного. (На глубине около 100 м волн, а значит, и волнового сопротивления уже нет.) Это означает, что мощность энергетической установки на подводном транспорте при прочих равных условиях должна быть меньше, чем у надводного. Подводный транспорт не подвержен влиянию ветра, волн, оледенения. Ему не нужно снижать скорость и отстаиваться в укрытых местах при штормах и ураганах. Продолжительность навигации в замерзающих районах для надводных судов (даже с ледоколами) ограничена. В районах с разреженным льдом они плавают, хотя и самостоятельно, но с малой скоростью. Подводные же корабли очень удобны для плавания в северных морях, так как они легко двигаются подо льдами; холода и туманы, любая непогода им не помеха".

Все эти обстоятельства заставили кораблестроителей и экономистов более глубоко, нежели это делалось раньше, заняться изучением целесообразности строительства грузовых и пассажирских подводных судов, которые во многом обещают быть лучше надводных.

Морской флот ныне является самой мощной в мире транспортной системой, от работы которой зависит благосостояние крупнейших стран и развитие мировых экономических связей. В 1966 г. в одном лишь Атлантическом океане ежедневно в плавании находилось около 4 тысяч судов с грузами. Объем морских перевозок растет из года в год. Вместе с интенсивным ростом грузооборота идет фантастическое увеличение размеров и тоннажа строящихся судов. Еще недавно самым большим судном в мире считался японский танкер "Токио Мару" дедвейтом (общей величиной всех грузов) около 150 000 т. Но он недолго удерживал лидерство среди плавающих в

настоящее время кораблей грузового флота. В 1967 г. вступил в строй танкер дедвейтом 205 000 т. Длина нового судна составляет 342 м, ширина 50 м, высота борта 23 м и осадка 17,33 м. Танкер предназначен для перевозки нефти из портов Персидского залива в порты Японии. Но и этот танкер недолго будет крупнейшим судном мира. Четыре японские судостроительные фирмы получили заказ на постройку танкеров дедвейтом от 150 000 до 280 000 т. Ведутся переговоры о строительстве танкера-гиганта дедвейтом 500 000 т.

Несколько иначе обстоит дело с грузоподъемностью подводных судов. Хотя теоретические расчеты и показали, что из всех возможных типов подводных судов наиболее экономичны крупные подводные супертанкеры дедвейтом свыше 100 000 т, однако постройка таких судов пока технически трудно осуществима; поэтому большинство ведущихся ныне проектных разработок производится применительно к танкерам дедвейтом не более 50 000 т.

В настоящее время по заданию правительственных органов, а также частных судовладельческих и судостроительных компаний США, Англии и Японии и некоторых других стран ряд специально созданных проектно-исследовательских организаций выполнил более 50 разработок подводных судов различных типов. В Англии, например, проявляют интерес не только к подводным танкерам, но и к подводным рудовозам, пригодным для круглогодовых рейсов в замерзающие порты Канады. Уже спроектирован атомный подводный рудовоз "Моби Дик" дедвейтом 28 000 т. Его максимальная расчетная скорость хода — около 50 км/час. Корпус рудовоза похож по своей форме на кита. Все грузовые помещения находятся внутри прочного корпуса, в средней части корабля.

А какие движители и двигатели следует ставить на подводные суда?

Некоторые кораблестроители считают, что для скорости ниже 100 узлов еще длительное время пальму первенства будут удерживать суда с винтовыми движителями. Однако здесь имеется одно "но" — заклинивание винта на больших глубинах. Это обстоятельство заставляет ученых вновь заняться попытками использования принципа волнообразного движения рыб при конструировании судов для подводного плавания. Ряд проведенных экспериментов показал, что к. п. д. нового устройства доходит пока что лишь до 16%. Вместе с тем некоторые соображения позволяют надеяться, что при удачной конструкции к. п. д. можно будет значительно увеличить. Результаты исследований, — пишет журнал "Мэшин Дезайн", —

пока что скромны. Но перед нами всего лишь первые, нетвердые шаги младенца, который будет расти, мужать и развиваться...

Что касается двигателей, то для подводного транспорта дизели и электромоторы, питающиеся от аккумуляторов, разумеется, не годятся. Их мощности не позволяют строить большие, высокоскоростные суда. Для скорости порядка 100 и более узлов подводные суда, по мнению специалистов, придется снабжать двигателями типа ракетных, прямоточных, с воздушнореактивными моторами или турбореактивными установками. С этим бионики согласны, однако они считают, что создателям будущих подводных судов все же следует заглянуть в "конструкторское бюро" природы, пойти на выучку к некоторым обитателям царства Нептуна. Ведь природа из поколения в поколение совершенствовала "конструкцию" рыб, все лучше приспосабливала их организмы к жизни и передвижению в воде. Человек же относительно недавно научился строить корабли, а тем более подводные суда. И, конечно же, кораблестроителям есть чему поучиться у древнего и мудрого мастера — природы в создании высокосовершенных двигателей и движителей. Достаточно сказать, что, в отличие от существующих технических средств подводного транспорта, у всех подводных обитателей функции двигателя и движителя совмещены в одном мышечном механизме, без промежуточных звеньев, а это, как известно, способствует эффективной отдаче энергии, повышению коэффициента полезного действия, обеспечивает надежность работы системы.

Вот пример. В зоологическом саду во Франкфурте-на-Майне можно увидеть рыбок с необычным строением тела: грудные и брюшные плавники у них деформированы и напоминают согнутые руки, оканчивающиеся длинными пальцами. На "локтях" находятся отверстия, приспособленные для "реактивного" движения. Заглатывая широко раскрытым ртом воду, рыбки под большим давлением выталкивают ее через эти отверстия.

В результате реактивной силы отдачи тело рыбок движется с большой скоростью.

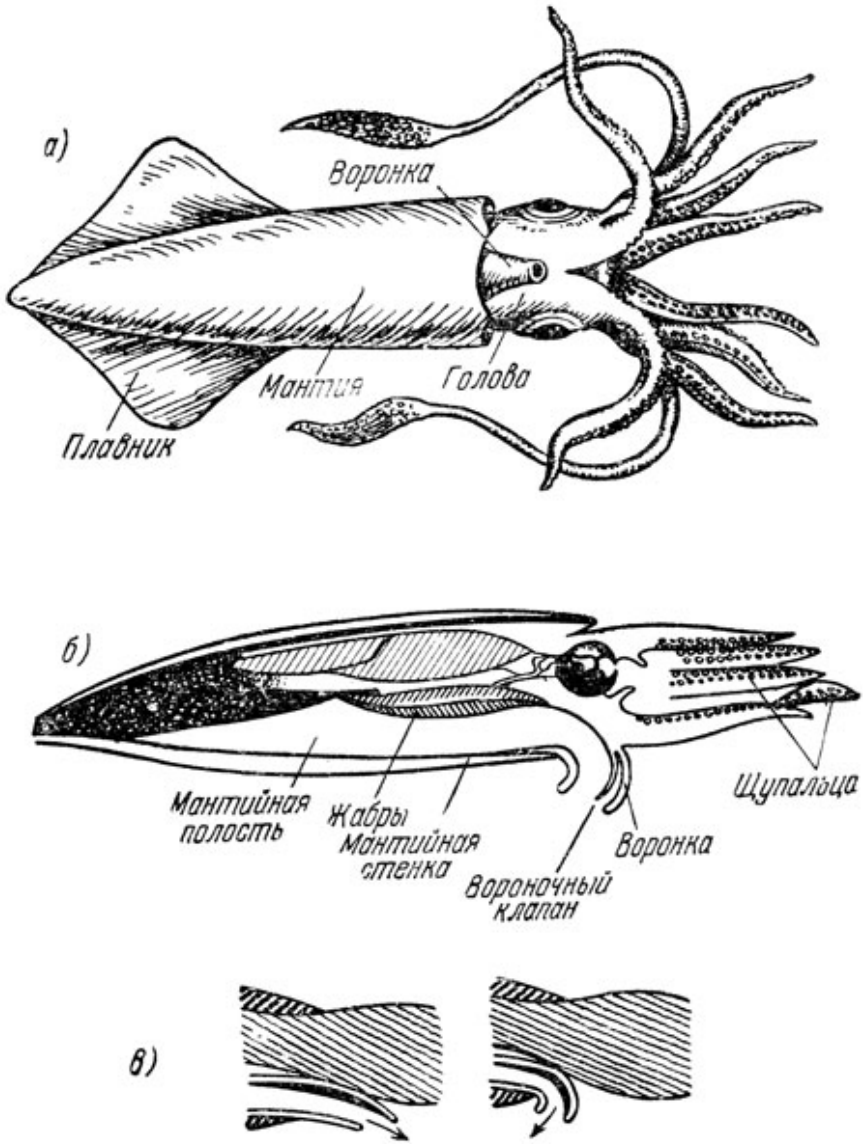


Рис. 14. Кальмар и его реактивный движитель, а) Кальмар — живая ракета; б) пульсирующий реактивный движитель кальмара; в) положение сопла и его клапана при движении кальмара назад (слева) и вперед (справа)

Реактивное движение, используемое ныне в самолетах, ракетах и космических снарядах, свойственно также головоногим моллюскам — осьминогам, кальмарам, каракатицам. Наибольший интерес для техников представляет реактивный движитель кальмаров. В сущности, кальмар располагает двумя принципиально различными движителями (рис. 14, а). При

медленном перемещении он пользуется большим ромбовидным плавником, периодически изгибающимся в виде бегущей волны вдоль корпуса тела. Для быстрого броска животное использует реактивный движитель. Основой его является мантия — мышечная ткань. Она окружает тело моллюска со всех сторон, образуя своеобразный резервуар (мантийную полость), в который периодически засасывается вода. В мантийной полости находятся жабры и внутренние органы кальмара (рис. 14, б). Объем мантийной полости составляет почти половину объема тела моллюска. При реактивном способе плавания животное производит засасывание воды через широко открытую мантийную щель внутрь мантийной полости из пограничного слоя. Мантийная щель (она плотно "застегивается" на специальные "запонки" после забора воды) расположена вблизи середины тела кальмара, где оно имеет наибольшую толщину. Сила, вызывающая движение животного, создается за счет выбрасывания струи воды через узкое сопло (воронку), которое расположено на брюшной поверхности кальмара. Это сопло снабжено специальным клапаном, и мышцы могут его поворачивать. Изменяя угол установки воронки (рис. 14, в), кальмар плывет одинаково хорошо как вперед, так и назад (если он плывет назад, — воронка вытягивается вдоль тела, а клапан прижат к ее стенке и не мешает вытекающей из мантийной полости водяной струе; когда кальмару нужно двигаться вперед, свободный конец воронки несколько удлиняется и изгибается в вертикальной плоскости, ее выходное отверстие разворачивается на 180° и клапан занимает изогнутое положение). На забор воды и ее выталкивание животное затрачивает доли секунды. Засасывая воду в мантийную полость в кормовой части тела в периоды замедленных движений по инерции, кальмар тем самым осуществляет отсос пограничного слоя, предотвращая таким образом срыв потока при нестационарном режиме обтекания. Увеличивая порции выбрасываемой воды и учащая сокращения мантии, кальмар легко увеличивает скорость движения.

Инженеры уже создали движитель, подобный движителю кальмара. Его называют водометом. В нем вода засасывается в камеру, а затем выбрасывается из нее через сопло; судно движется в сторону, противоположную направлению выброса струи. Вода засасывается и выталкивается при помощи обычного бензинового или дизельного двигателя. Почему же движитель кальмара по-прежнему привлекает внимание инженеров, является объектом тщательных исследований бионики? Дело в том, что для передвижения под водой удобно иметь устройство, работающее без доступа атмосферного воздуха. Поэтому

поисковые работы инженеров направлены на создание конструкции гидрореактивного двигателя, подобного воздушнореактивному, т. е. такого, где двигатель и движитель составляют одно целое.

Весомый вклад в решение этой проблемы обещают внести химики. Они ведут работу над синтезом особых веществ, способных гореть в воде, как бензин или керосин в воздухе. Располагая необходимым горючим, творцы нового "подводного" мотора при разработке его конструкции, несомненно, учтут опыт строителей авиационных реактивных двигателей и обязательно воспользуются подсказкой природы, создавшей "живую ракету" — кальмара.

Гидрореактивный движитель кальмара очень экономичен в работе. Отработанный природой на протяжении многих миллионов лет и доведенный ею до высокой степени совершенства, он позволяет кальмару в погоне за косяками рыб, служащих для него основной пищей, легко совершать в океане тысячемильные переходы. Кальмары могут развивать скорость до 70 км/час, причем это, вероятно, не предел. Хотя прямых измерений, насколько нам известно, никто не производил, некоторые исследователи, занимающиеся изучением головоногих моллюсков, считают, что возможная максимальная скорость передвижения кальмаров в воде может достигать 150 км/час.

Кальмаров поистине можно назвать "спринтерами моря". Они способны стартовать из морских глубин в воздух с такой скоростью, что нередко пролетают над волнами более 50 м. Высота полета такой живой ракеты над водой, по свидетельству бывалых моряков, иногда достигает 7 — 10 м. В отличие от подавляющего большинства быстроходных рыб, обладающих малой маневренностью на большой скорости, кальмарам присуща поразительная маневренность в воде, они производят чрезвычайно стремительные повороты не только в горизонтальной, но и в вертикальной плоскости,

Изумительной быстроходности и маневренности кальмаров в большой степени способствуют чудесные гидродинамические формы тела животного. Тело у кальмаров мягкое, но упругое, и оно способно существенно деформироваться. Набирая скорость, кальмар вытягивается и сбоку очень похож на профиль самолетного крыла. Его спина становится более выпуклой, чем брюхо. Продольная ось тела при этом совпадает с направлением поступательного движения. Иначе говоря, тело — "крыло" — все время сохраняет нулевой угол атаки. Неодинаковые скорости потоков над и под крылом создают подъемную силу. Перемещаются кальмары, как и другие головоногие моллюски,

хвостом вперед, а голова и десять ног-щупалец с присосками служат как бы кормой. При движении щупальца плотно складываются вместе, и вода их хорошо обтекает. Они снабжены продольными килями, которые образуют кормовое оперение корпуса кальмара. Эти необычайно длинные (по сравнению с размерами тела моллюска) кили надежно стабилизируют направление движения кальмара; при их помощи он легко сохраняет и меняет курс.

Таким образом, изучение локомоторного аппарата кальмаров, гидродинамических показателей формы их тела может дать инженерам-кораблестроителям богатый материал для создания высокоманевренной морской ракеты, способной развивать под водой огромную скорость.

Разумеется, моряку и даже специалисту-судостроителю 60-х годов нашего столетия трудно представить себе во всех деталях, какими будут корабли, скажем, через 50 лет.

И все же, читатель, давайте мысленно совершим экскурсию в морской порт 2018 года... У причалов стоят корабли, по форме очень похожие на китов, дельфинов, акул, тунцов и кальмаров. Один из них закончил погрузку, отходит от пирса и направляется в открытое море. Несколько минут, величаво покачиваясь на волнах, плывет, купаясь в лучах заходящего солнца "белый кит" и... исчезает под водой. Пройдет немного времени, и столь же неожиданно он выплывает из глубин океана в другом полушарии...

Теперь посмотрим, что могут позаимствовать инженеры из "патентов" природы для развития современного воздушного транспорта.

Вероятно, раньше всех на Земле начали летать представители растительного царства. Ведь своеобразные "крылья" имеют многие семена деревьев и растений. Так, у семян клена сравнительно большая аэродинамическая поверхность, имеющая вид двух симметрично расположенных лопастей, которые, высыхая, несколько закручиваются. Падая на землю, семена быстро вращаются, аэродинамические силы задерживают падение семени, благодаря чему ветер может отнести его на значительное расстояние. Легкие семена тополя окружены пухом, что дает им возможность в теплые сухие дни подниматься высоко над землей под действием воздушных потоков и долго парить, далеко улетая от родного "дома". У ели и сосны семя снабжено одним прозрачным крылышком-парусом. В зимнее время ветры заставляют семя "под парусом" скользить по насту, словно буер по льду, и оно перемещается на десятки километров от материнского дерева.

В начале нашего века ученые заинтересовались летными свойствами крупного семени одного из тропических растений — цанонии из семейства тыквенных. Семена цанонии подолгу парят в воздухе, поднимаясь и опускаясь в его потоках. По их образцу и были созданы первые планеры и самолеты "летающее крыло". Одно время эти модели были очень популярны, но потом о них почему-то забыли...

Природа создала очень много оригинальных летающих "конструкций". Достаточно сказать, что значительная часть всех известных в настоящее время видов живых существ способна летать. Не говоря уже о птицах и насекомых, природа сделала крылатыми даже многих рыб.

Тот, кому хоть раз довелось видеть полет летучих рыб, вероятно, никогда не забудет это любопытное зрелище. У этих летунов длинные грудные и хвостовые плавники, напоминающие удлиненные крылья. Сильным движением хвоста летучая рыба отталкивается от воды и совершает пологий планирующий полет со скоростью около 30 км/час, поднимаясь на высоту до 3 м. Дальность его около 100 — 150 м, длительность — 10 — 18 сек.

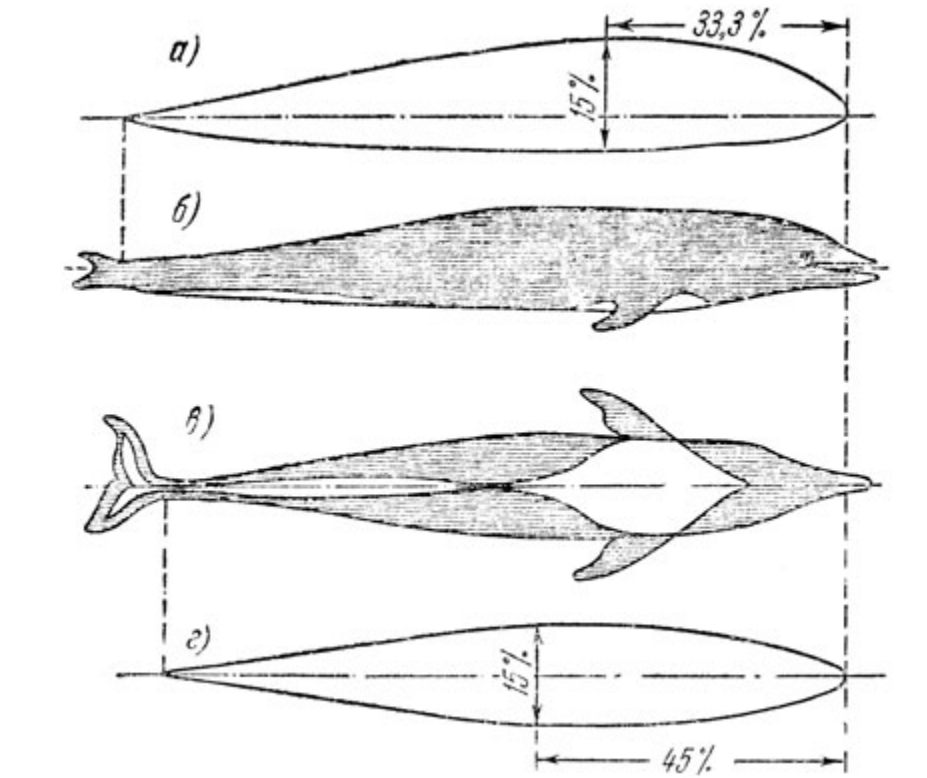


Рис. 15. Быстроходный дельфин хорошо обтекаемой формы и близкие по контурам аэродинамические профили (по С. В.

Першину). а) Несимметричный 15%-ный профиль ЦАГИ серии В; 6) и в) вид дельфина сбоку и снизу (экземпляр длиной 2,08 м, весом 56 кг); г) симметричный 15%-ный ламинаризованный профиль НАКА

Законы гидродинамики и аэродинамики имеют много общего, и поэтому изучение строения рыб и способов их передвижения представляет большой интерес не только для конструкторов различных подводных кораблей, но и для авиастроителей. Проведенные в последнее время исследования показывают, что некоторые конструкции и устройства, используемые в современном самолетостроении, можно было бы с успехом позаимствовать у рыб. За примерами далеко ходить не надо. Посмотрев на рис. 15, мы увидим, что контуры тела быстроходного дельфина в вертикальной и горизонтальной проекциях очень сходны с контурами известных аэродинамических профилей, обладающих наибольшей подъемной силой. Оказывается, что и тело акулы обладает такой же (если не большей!) подъемной силой, как и крыло самолета. Вот вам и плавающие рыбы!

Но если говорить об истории полетов человека, то она началась не с копирования летающих "конструкций" растений и рыб, а с изучения полета птиц и насекомых. В дошедших до нас трудах Леонардо да Винчи, Джоана Домиана (около 1500 г.), алхимика Иакова IV Шотландского и других мыслителей прошлого можно найти множество схем, набросков и рисунков летательных аппаратов с машущими крыльями. В них постоянно повторяются крылья различных птиц, насекомых и летучих мышей. По утверждению русских летописцев XVI века, "смерд Никитка, боярского сына Лупатовых холоп", летал с помощью крыльев. В 1699 г. на голубиных крыльях "...поднялся аршинов на 7... и упал на спину, но небольно..." стрелец рязанский Серов. Легенды XVIII века повествуют о крылатых снарядах приказчика Островкова и кузнеца Черная Гроза. Первый сделал крылья на бычьих пузырях, второй придумал крылья из проволоки и перьев и прицепил к ногам хвост. Хранящиеся в филиале Государственного архива Тюменской области документы рассказывают о том, что бежавший из митрополичьего дома бывший иеромонах Федор Мелес, украинец, в 1762 г. построил крылья для полета и "...практикой показал, как может человек совершенно подобию птице по воздуху, куда хочет, летать... и означенный же к летанию способ зделав, он намерен был отсель из Тобольска через те улететь прямо в Малороссию... мог бы скоро перелететь из Тобольска до Малороссии, еже бы способный ветер последовал, всемирно через один день, а не более". Век

спустя идея постройки "воздухоплавательного аппарата" возникла у русского моряка, капитана первого ранга А. Ф. Можайского. Проведенное им длительное и тщательное изучение строения крыльев птиц, механики птичьего полета, как известно, завершилось постройкой первого самолета с неподвижно раскрытыми крыльями.

Научившись летать, человек превзошел птицу по скорости полета в 1912 г., по высоте полета — в 1916 г. и по дальности полета — в 1924 г. А вот по экономичности полета даже самые лучшие в мире воздушные лайнеры, переносящие за несколько часов сотни пассажиров через моря и океаны, все еще отстают от птиц. Да еще как отстают!

Возьмем к примеру наши стремительные "ИЛ-18" и "ТУ-114" и прикинем, какой вес этих воздушных гигантов приходится, скажем, на одну лошадиную силу их двигателей. Получается, что у самолетов это соотношение составляет 14 кг, у орла в пересчете на мощность его живого "двигателя" оно равно 70 кг, у обыкновенного аиста — даже 135 кг. Вот и выходит, что летательный механизм аиста почти в 10 раз экономичнее, чем у самых совершенных самолетов.

Экономичность полета пернатых проявляется особенно наглядно во время их длительных миграций. Чибисы, например, перелетают из Англии в Ньюфаундленд через Атлантический океан, покрывая расстояние в 3500 км без остановки. Почти фантастическим кажется перелет кроншнепов, гнездящихся на Аляске и зимующих на островах Таити, на Гавайских островах и т. п. Весь путь протяженностью в 9500 км (более 3000 км над морем), они, видимо, проделывают без отдыха. Некоторые буревестники гнездятся на островах Тристак-да-Кунья, отстоящих от ближайшей суши на 2400 км, и при этом проделывают путь в одну сторону более 10 000 км. Птицы летят без отдыха как над водными пространствами, так и над пустынями. За время своего "беспосадочного" перелета они проделывают огромную мышечную работу. Так, например, перелет мелких певчих птиц через Сахару длится 30-40 час. За это время каждая пернатая путешественница при 4 — 5 взмахах крыльев в секунду поднимает и опускает их около 500 тысяч раз!

Пройдя строжайший естественный отбор и вместе с тем совершенствуясь в полете на протяжении многих миллионов лет, птицы превзошли созданные людьми первоклассные летательные аппараты и в маневренности. Этому прежде всего способствуют прекрасные аэродинамические формы птиц. Клюв, голова, шея плавно выгнуты в полете, ноги поджаты и почти не выступают из корпуса, напоминая убранное шасси самолета. Известна,

например, порода голубей, которые во время полета неоднократно перекувыркиваются, или авторотируют, не теряя при этом равновесия. Виртуозно летает альбатрос. Он может летать несколькими способами: махая крыльями, паря в восходящем потоке воздуха и подпрыгивая на встречных "волнах" (двигаясь с порывами ветра). И все это благодаря совершенной аэродинамической форме крыльев. Сокол сапсан в горизонтальном полете развивает скорость около 90 км/час, но, увидев жертву, он немедленно бросается на нее с высоты и, пикируя, достигает скорости 360 км/час. Промахнувшись, он короткой дугой, без взмаха крыльями снова поднимается в небо. Попутно небезынтересно отметить, что пикирование сапсана долго не давало покоя всем ученым, пытавшимся разрешить проблемы бомбометания с пикирования. Некоторые фигуры высшего пилотажа выполняют и ласточки, полет которых отличается значительной быстротой (до 120 км/час!) и маневренностью. Хорошо летают летучие мыши. В полете они мастерски маневрируют, а некоторые из них даже могут "висеть" в воздухе на одном месте. Такими же способностями обладают жаворонок, зимородок и пустельга. Но, пожалуй, пальму первенства в маневренности следует отдать самым маленьким представителям пернатого мира — колибри. Эти птички-невелички (весом от 2 до 6 2 при длине туловища 15 — 20 мм) с оперением, которое можно сравнить с блеском драгоценных камней, носят романтичные, красивые названия, вроде "ТО-пазовый колибри", "эльф украшенный", "орлиный клюв", "синяя борода"; в погоне за насекомыми они развивают на спринтерских дистанциях скорость до 100 км/час. Некоторые виды колибри поднимаются в горы до высоты 4000 м и выше, где из позвоночных животных встречаются лишь одни могучие кондоры. Стремительная в полете птичка-невеличка может останавливаться в воздухе и, не переставая работать крыльями, подолгу "висеть" неподвижно в одной точке, словно крохотный вертолет. Она может даже летать "боком" и "задним ходом". Такая высокая маневренность полета достигается большой частотой взмахов крыльев (более 50 взмахов в секунду) и тем, что колибри машут крыльями не вертикально, как все птицы, а горизонтально (это позволяет им, в частности, летать хвостиком вперед!).

Разве не заманчиво творцам современных воздушных лайнеров, располагая столь блестящими примерами природы, довести экономичность и маневренность своих кораблей до уровня, достигнутого птицами? На сей счет, нам думается, двух мнений быть не может.

Но прежде чем изложить, как этого можно достичь,

необходимо, хотя бы кратко, рассмотреть механическую схему полета птиц.

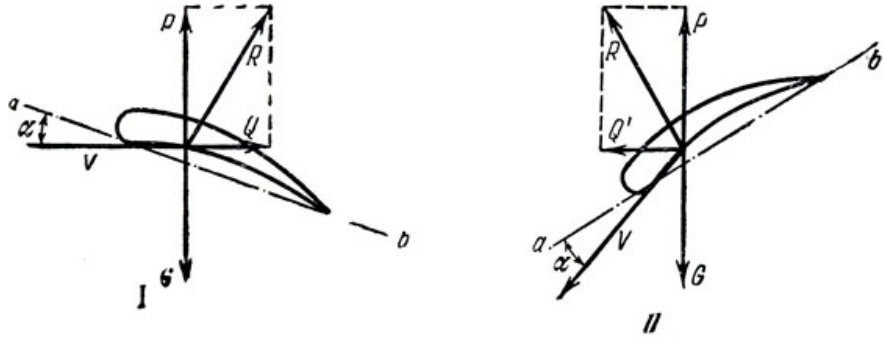


Рис. 16. Разложение сил, действующих на крыло птицы во время полета. R — сила полного сопротивления воздуха; P — подъемная сила; Q — сила лобового сопротивления; Q' — сила тяги; G — вес птицы; ab — хорда крыла; a — угол атаки. I — птица летит на неподвижно распростертых крыльях, используя приобретенную ранее скорость; V — направление полета птицы. II — птица летит с помощью взмахов крыльями; направление взмахов вертикально и совпадает с силой тяжести (или имеет строго противоположное направление); V — истинное направление движения крыла, определяемое в результате вертикального движения крыла относительно туловища и горизонтального движения вместе с туловищем

Для простоты представим себе сначала, что птица, работая крыльями, приобрела уже известную скорость и теперь использует ее, продолжая полет на неподвижно распростертых крыльях. При этом птица испытывает сопротивление движению со стороны воздуха, которое мы изобразим в виде силы R, называемой силой полного сопротивления воздуха. Ее можно разложить по известному правилу параллелограмма на две составляющие: силу P, направленную по вертикали, и перпендикулярную ей силу Q (рис. 16, I). Первая сила P направлена вверх и стремится поднять крыло, поэтому ее называют подъемной силой. Если подъемная сила равна весу птицы, то высота полета не изменяется, птица летит горизонтально. Если же сила P больше веса птицы, последняя поднимается вверх; если она меньше веса, то происходит потеря высоты, птица снижается. Сила Q тормозит поступательное движение и называется силой лобового сопротивления.

Если сила лобового сопротивления больше силы тяги, то движение замедляется, в противном случае движение ускоряется,

и, наконец, в случае равенства сил тяги и лобового сопротивления скорость движения остается постоянной.

Откуда же возникает сила тяги? При взмахе крыла вниз составляющие силы распределяются несколько по-иному, чем в только что разобранном случае. Сила P по-прежнему направлена вверх и уравновешивает силу тяжести, а перпендикулярная ей сила Q' направлена вперед и создает тягу. Разложение сил при всевозможных положениях крыла показывает, что сила тяги может возникать и при поднимании крыла (рис. 16, II). Определяющим моментом в этом случае служит знак так называемого угла атаки, т. е. угла между хордой крыла и направлением набегающего на него воздушного потока.

Итак, чем больше подъемная сила по сравнению с лобовым сопротивлением, тем эффективнее полет, тем выше так называемое качество летательного аппарата. В свете сказанного всю историю авиации, в сущности, можно свести к решению следующей важнейшей задачи: увеличить подъемную силу и уменьшить вредное лобовое сопротивление. Главными способами борьбы с лобовым сопротивлением до последнего времени были "зализывание" форм самолета и уменьшение угла атаки.

Но можно ли уменьшать угол атаки до бесконечности? Нет! Существует определенный предел, ниже которого полет самолета становится невозможным. Но это в том случае, когда крыло неподвижно. А если заставить его двигаться подобно птичьему? Оказывается, что тогда можно достичь максимума подъемной силы и свести к минимуму лобовое сопротивление!

Таким образом, для резкого повышения экономичности полета современных самолетов нужно прежде всего перейти к машущему полету. Но осуществить его, а главное — достичь желаемого эффекта — задача далеко не простая даже в наш XX век, век, казалось бы, безграничных возможностей науки и техники.

Лет двадцать пять тому назад много говорили и писали в Германии о некоем Эрихе фон Хольсте, который изготовил несколько механических птичек. Они были маленькие, совсем как настоящие, и, представьте себе, летали! Окрыленный успехом, Эрих фон Хольст задался целью построить орнитоптер — летательный аппарат с машущими крыльями. За Хольстом последовали многие изобретатели различных стран. Строили махолеты, или, как их еще называют, птицелеты, самых различных конструкций. Один из таких махолетов весил больше полутонны, площадь его крыльев достигала 30 м^2, они делали от 25 до 90 взмахов в минуту. По расчетам, такой орнитоптер способен был поднять не одного, а даже нескольких пассажиров.

Однако взлететь ему так и не удалось: не хватило подъемной силы. Другие махолеты, едва оторвавшись от земли, неизменно тотчас же падали...

Почему же зарубежные изобретатели потерпели в своих первых попытках создания махолета неудачу? Все дело в том, что Хольст и его последователи пытались слепо копировать природу, забывая, а быть может, попросту не зная того, что законы, характерные для полета птиц, не подходят для больших летательных аппаратов с машущими крыльями. Одно дело — аэродинамика обычного самолета с неподвижным крылом, другое дело — аэродинамика машущего крыла. Несмотря на то, что человечество начало изучать полет птиц со времен Леонардо да Винчи, до сих пор тайна этого феномена еще полностью не разгадана.

Раскрыть секреты феноменальной подъемной силы птичьего крыла, постигнуть закономерности полета пернатых, переложить их на инженерный язык, взять у летающих "конструкций" живой природы все самое выгодное, найти новые законы для постройки махолетов — этим сейчас увлечены бионики многих стран. Правда, далеко не все инженеры-авиастроители разделяют идею перспективности машущего полета, однако число приверженцев махолетов с каждым годом непрерывно растет. Только в одной Москве их около тысячи.

Вот уже более 15 лет в столице нашей родины работает Комитет машущего полета Федерации авиационного спорта СССР. Инженеры и рабочие, летчики и биологи, кинематографисты и орнитологи, математики и скульпторы в тесном содружестве с учеными Института морфологии животных им. А. Н. Северцева АН СССР — доктором наук Г. С. Шестаковой и кандидатами наук Т. Л. Бородулиной, В. Э. Якоби, И. В. Кокшайским исследуют механику и аэродинамику полета птиц, строят модели орнитоптеров, сооружают различные испытательные стенды для изучения механизма действия крыльев и т. п. И если бы вам, читатель, довелось солнечным октябрьским утром 1962 г. побывать на одном из подмосковных аэродромов, то вы бы увидели первые результаты упорного и кропотливого труда этого большого коллектива энтузиастов машущего полета...

По бетонной дорожке, плавно взмахивая гибкими крыльями девятиметрового размаха, мчался необычный летательный аппарат. Сильная струя воздуха, отбрасываемая машущими крыльями, заставляла никнуть траву по краям дорожки. Набрав скорость 25 — 30 км/час, аппарат начал подпрыгивать. А еще через несколько секунд его колеса повисли в воздухе. Аппарат летал над аэродромом недолго, так как программа испытаний

была рассчитана только лишь на проверку тяги и подъемной силы. Однако первый же экспериментальный полет показал, что даже при очень небольшой скорости — вдвое меньшей, чем требуется самолету, — махолет с маломощным моторчиком в 18 л.с. легко отрывается от земли.

Спустя полтора года, точнее, 19 апреля 1964 г., на стадионе "Динамо" в Москве были проведены соревнования нескольких моделей аппаратов с машущими крыльями. Присутствующие на соревнованиях воочию убедились, что полет на таких аппаратах абсолютно безопасен, так как махолет может садиться при нулевой поступательной скорости. А если вдруг в воздухе откажет двигатель? Это не страшно: махолет плавно спланирует на распластанных крыльях.

Итак, за последние годы в нашей стране несомненно достигнуты определенные успехи в моделировании полета птиц. Но это отнюдь не значит, что проблема машущего полета уже решена и мы можем завтра приступить к созданию орнитоптеров, которые будут более экономичными и маневренными, чем самые лучшие современные самолеты. Для эффективного моделирования полета птиц необходимо не только убедиться в том, что наша модель обладает теми или иными свойствами или особенностями, но и разработать методы расчета заранее заданных технических характеристик устройства, а также методы их синтеза, обеспечивающие достижение требуемых в поставленной задаче показателей. Иными словами, чтобы успешно моделировать полет птиц, необходимо располагать теорией их полета. А такой теории, к сожалению, пока нет.

Разработка теории машущего полета — задача чрезвычайно трудная. Не говоря уже об очень большой сложности физической схемы исследуемого процесса, здесь, в отличие от аэродинамики обычного самолета с неподвижными крыльями, приходится сталкиваться с массой новых величин и функциональных зависимостей, которые следует соответствующим образом учитывать. Например, рассматривая машущее крыло, мы встречаемся с такими новыми по сравнению со случаем неподвижного крыла показателями, как угловая скорость, число взмахов, амплитуда взмаха, ускорение в разных фазах взмаха; переменными становятся такие бывшие константами в случае неподвижного крыла величины, как установочный угол, угол атаки, сами аэродинамические силы в разных фазах взмаха и т. д. Отсюда неизбежно вытекают сложность в осуществлении экспериментальных исследований и затруднения в теоретическом обобщении их результатов.

Однако в наше время имеется немало совершенных

технических средств и методов, позволяющих в значительной степени облегчить или даже обойти ряд трудностей, встречающихся при исследовании различных летных показателей птиц. Достаточно упомянуть, например, радары, используемые для определения высоты полета птиц, скоростные кинокамеры, применяемые для определения частот, амплитуд и скоростей взмахов крыльев, телеметрическую аппаратуру, используемую для измерения физиологических показателей летящей птицы, и др. Благодаря этой технике надежность и точность экспериментальных исследований в последнее время значительно повысились. Очень многое дает при изучении закономерностей полета птиц применение методов сравнительных исследований (разумеется, в том случае, когда внимание в равной степени обращено на морфологию, физиологию и экологию сравниваемых биологических объектов). В природе существует огромное многообразие типов полета птиц. Это многообразие определяется не только количеством видов птиц, но и тем, что каждый вид может использовать несколько типов полета. При сопоставлении птиц разных видов, различающихся теми или иными особенностями полета, выявляется взаимосвязь между изменением искомых параметров или конструктивных особенностей летательного аппарата. Конкретными примерами успешного применения упомянутого подхода могут служить выяснение значения аллометрии крыльев птиц и расшифровка механизма бессрывного обтекания, связанного с управлением пограничным слоем.

До реактивной авиации мы практически не управляли пограничным слоем воздуха, обтекавшим крылья. Ставили, правда, закрылки на аэродинамические гребни, чтобы воздушные потоки не перетекали по крылу. Но ведь у птиц нет никаких "аэродинамических гребней". Как они управляются без этих приспособлений? Ведь пограничный слой возникает и у птичьих крыльев.

Для объяснения этого появилась очень смелая и, можно даже сказать, дерзкая гипотеза: птицы обладают "чувством потока", активно управляют пограничным слоем. Они умеют направлять поток в любую нужную им сторону. Однако для того, чтобы гипотеза стала достоверной научной истиной, нужны веские, убедительные доказательства. Их поисками занялась Т. Л. Бородулина. Она обследовала и сравнила строение крыльев многих хороших и плохих летунов и установила следующее:

"Плавность обтекания птицы потоком воздуха при полете в большой степени зависит от микроструктуры

перьев. У быстро и много летающих птиц лучи второго порядка (или бородочки) имеют широкую основную часть в виде тонкой пластинки, переходящую в длинную тонкую нить (пенулу). В месте перехода обычно бывает несколько шипообразных зубцов. Благодаря такому строению перьев происходит дробление воздушного потока по телу птицы на многочисленные мельчайшие потоки и бессрывное и плавное их стекание, что имеет существенное значение для уменьшения лобового сопротивления. Кроме того, пластинки основной части луча второго порядка расположены под положительным углом атаки к направлению полета и можно предположить, что это обеспечивает отсос части воздуха, препятствует отрыву ламинарного слоя и образованию турбулентных потоков.

Рельеф поверхности крыла — бороздчатый, что обеспечивает требуемое направление потоков воздуха, обтекающих крыло. На верхней стороне крыла у всех птиц бородки расположены более или менее веерообразно: они расходятся к заднему краю крыла, что увеличивает скорость прохождения потоков воздуха по крылу. На нижней же стороне бородки направлены иначе. У птиц с быстрым полетом (например, у уток) линии рельефа на нижней стороне крыла S-образно изогнуты и сходятся к основанию крыла. Это вызывает торможение потоков воздуха или их завихрение на нижней поверхности крыла. Вследствие различия скоростей прохождения воздушных потоков сверху и снизу крыла увеличивается подъемная сила последнего.

Предварительное продувание крыла с наклеенными шелковинками убедило нас в том, что на нижней поверхности крыла воздушные потоки отклоняются соответственно направлению бородок".

В настоящее время учеными изучено 14 различных характеристик живого крыла (влияние структуры перьев, уравновешивание крыла в движущемся потоке и др.). Дальнейший успех в разрешении множества вопросов, связанных с практическим осуществлением машущего полета, сейчас, очевидно, в значительной мере будет зависеть от того, насколько биологам, аэродинамикам, математикам, физикам и механикам удастся совместить результаты, добываемые при морфо-экологическом исследовании птиц, с современными теоретическими представлениями аэродинамики.

Однако уже сегодня ясно, что формула крыла орнитоптера не будет похожей на формулу крыла птицы. Иначе крыло махолета должно было бы иметь бороздки. По-видимому, кое-какие особенности будут отличать и другие элементы крыла. Некоторые ученые утверждают, что будущий птицелет "...будет тем полнее отвечать требованиям человеческой практики, чем меньше он будет представлять собою точную копию птицы...". Но не будем забегать слишком далеко вперед, строить прогнозы о том, что будет и чего не будет в махолете от летательного аппарата птицы. Сегодня, нам думается, важно другое: наметился путь, идя по которому ученые, несомненно, разгадают тайну полета птиц. И когда будет создана стройная физическая теория машущего полета, адекватная высокой сложности явления, инженеры, безусловно, построят махолеты — неприхотливые, экономичные, маневренные машины. Человек будет летать, как голубь или альбатрос, а может быть, и лучше.

Помимо изучения полета птиц у человека имеется еще один путь решения проблемы машущего полета.

Старинная восточная легенда рассказывает о мудреце, который сделал летательную машину с машущими крыльями, похожую на огромное насекомое. Когда мудрец узнал, что враги хотят похитить машину, он сжег ее. Так навеки была потеряна тайна конструкции механической стрекозы. Эта и многие другие легенды повествуют о том, что еще в далекой древности зародилась идея постройки летательного аппарата по принципу насекомого — энтомоптера[2]. Однако до последнего времени интересные особенности полета насекомых сравнительно мало привлекали внимание инженеров — конструкторов летательных аппаратов. Объяснить это можно лишь одним: полет насекомых — очень сложный процесс. Он таит в себе сотни загадок, ответ на которые еще не найден. Так, например, согласно чаконам современной аэродинамик майский жук летать не должен. Однако, ниспровергая всю нынешнюю теорию полета и сбивая с толку специалистов по аэродинамике, это насекомое все же летает. Для того чтобы летать, майский жук при среднем весе 0,9 г должен иметь коэффициент подъемной силы (относительная величина, пропорциональная подъемной силе) от 2 до 3, фактически же у этого насекомого коэффициент подъемной силы меньше 1!

Известно, что коэффициент подъемной силы наиболее совершенных крыльев, созданных самолетостроителями, колеблется от 1 до 1,5. Следовательно, крыло жука, хотя и кажется несовершенным, обеспечивает сравнительно большую подъемную силу. Этим обстоятельством заинтересовались ученые

Нью-Йоркского университета. Для изучения полета майского жука они сконструировали в натуральную величину искусственное крыло (чтобы точно воспроизвести работу крыла, исследователи долго и внимательно анализировали кинопленку, на которой методом скоростной съемки был заснят полет жука). Экспериментальная установка позволяла измерять смещение крыла величиной 0,000025 см. Недавно руководитель проводимых исследований Леон Беннет заявил: "Если мы сумеем определить аэродинамику полета майского жука, мы или обнаружим какое-то несовершенство в современной теории полета насекомого, или откроем, что майский жук обладает каким-то неизвестным нам способом создания высокой подъемной силы".

Однако оставим в покое майского жука и обратимся к другим летающим насекомым, которых в природе насчитывается более 350 000 видов.

По-видимому, среди животных насекомые стали летать первыми. Во всяком случае, достоверно известно, что летающие насекомые появились на Земле более 300 миллионов лет назад. Далеко не все насекомые хорошо летают. Едва ли не большинство составляют посредственно и плохо летающие виды. Но есть множество форм, которые летают превосходно. Полет насекомых в основном определяется двумя факторами: характером мышц крыла и строением самого крыла. Так, у златоглазки — одного из немногих доживших до нашего времени представителей когда-то процветавшей группы сетчатокрылых — мускулатура передних и задних крыльев одинакова по мощности. Обе пары крыльев похожи по форме и величине. Летные возможности златоглазки практически ничтожны: судорожные взмахи крыльев позволяют ей достичь в лучшем случае скорости 60 см/сек. Такие же плохие летуны скорпионовы мухи и некоторые дневные бабочки, у которых передняя и задняя пары крыльев почти одинаковы или, во всяком случае, работают одинаково, да еще не синхронно, а "вразнобой". Исключение составляют лишь стрекозы; сохранив одинаково развитые пары крыльев, они тем не менее обладают превосходными летными качествами. Но у стрекоз совсем особое устройство крыловой мускулатуры — их "крыловый мотор" (крыловая скелетно-мышечная система) высоко специализирован. Главную роль в полете стрекоз играют мышцы прямого действия.

Кроме того, переднее крыло стрекозы далеко отодвинуто от заднего и они не соприкасаются друг с другом. У всех остальных современных видов насекомых в процессе эволюции одна пара крыльев усилилась за счет другой.

Здесь невольно сама собой напрашивается аналогия: подобно

тому как творцы самолетов заменили старые, тихоходные "этажерки" — бипланы и триплапы — монопланами, природа помогла многим четырехкрылым насекомым усовершенствовать свой летательный аппарат, избавив или почти избавив его от лишней пары крыльев. У двукрылых — мух, слепней, комаров — задние крылья исчезли не бесследно, а превратились в жужжальца. Каждое жужжальце состоит из вздутого основания, тонкой ножки и вздутой головки и имеет вид булавы. Эти жалкие остатки задних крыльев не играют активной роли в полете, а лишь косвенно связаны с ним: они, говоря инженерным языком, выполняют функции стартера. Так как многие двукрылые взлетают на высоком ритме ударов крыльев, жужжальца способствуют "разгону" крыловых мышц. Постепенно ускоряя ритм своих движений, жужжальца вызывают соответствующие ритмические события в тех частях нервной системы насекомого, которые управляют крыловой мускулатурой. Когда достигается нужный ритм, включается собственно двигательный аппарат — "мотор крыла" сразу начинает работать полным ходом, что и требуется для взлета. У перепончатокрылых же переднее и заднее крылья сцеплены друг с другом, образуя механическое целое без всяких, однако, сращений. Переднее крыло пчелы, например, имеет на заднем краю складку — "карман". В него входят загнутые крючки переднего края заднего крыла, и последнее оказывается как бы на буксире у переднего и работает в унисон с ним (рис. 17, а). Почти так же устроен сцепочный механизм у тлей (рис. 17, 6, в, г), с той лишь разницей, что крючков здесь немного и они тесно сближены. Бабочки имеют иные сцепочные механизмы — толстые щетинки на нижней стороне заднего крыла входят в складку на переднем крыле. У многих высших форм этих приспособлений нет и крылья связываются посредством широкого наложения переднего на заднее. Но важен не способ соединения, а результат: у всех перепончатокрылых переднее и заднее крылья каждой стороны крепко скреплены и работают как одно целое. Таким образом, выражение "четырехкрылые" не следует понимать буквально. Морфологически четырехкрылое построение является функционально двукрылым.

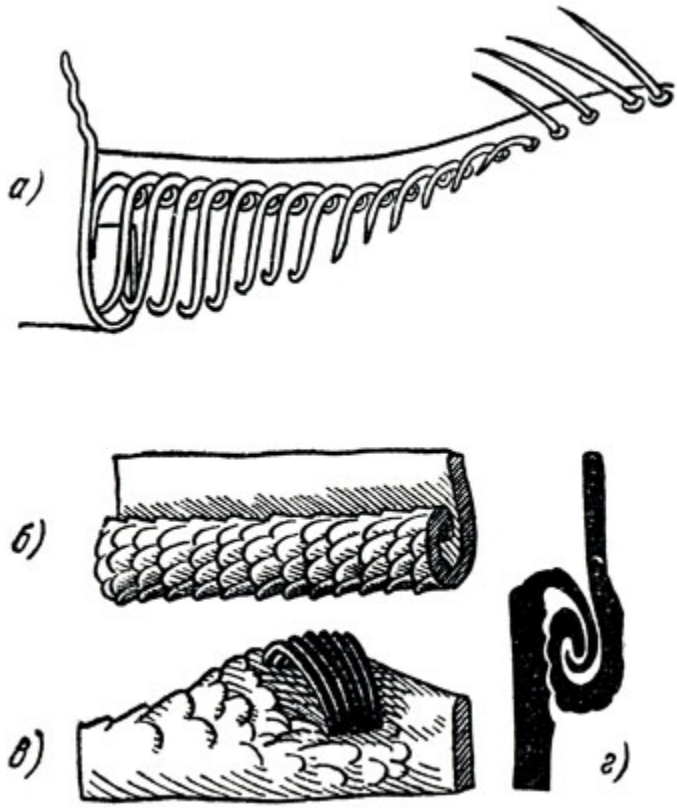


Рис. 17. Механизмы сцепления крыльев у пчел (а) и у тлей (б, в, г)

Рассмотрим теперь устройство крыла насекомого. На первый взгляд твердое, сухое крыло мухи или бабочки кажется безжизненным образованием. Но в действительности это далеко не так. В него входят нервы, внутри крыла имеется даже (правда, не у всех насекомых) кровообращение. Крыло насекомого — это изумительное "инженерное" творение природы, достойное восхищения техников. Оно разделяется на две механически различные компоненты: жилки и мембрану. Жилки, будучи построены по типу полых трубок, представляют собой чрезвычайно прочные образования. Но площадь, занимаемая ими в крыле, весьма незначительна, так как они очень тонки. Промежутки между жилками, ячейки, затянуты тонкой прозрачной мембраной. Последняя занимает большую часть площади крыла и очень гибка. Однако, будучи разделена на ячейки, натянутые на прочный каркас жилок, она приобретает значительную прочность. В общем, совокупность жилок и мембраны напоминает распущенный зонт с материей, натянутой на стальные прутья. Такое строение обеспечивает обширную

гребную поверхность крыла при минимальной затрате материала и минимальном весе. Работа крыла характеризуется частотой взмахов. У насекомых же частота ритмических ударов крыльями очень велика. Ночные бабочки делают от 35 до 45 взмахов в секунду, стрекоза коромысло — от 80 до 100, оса — ПО, шмель — от 180 до 240, комнатная муха — 330, медоносные пчелы-от 180 до 340, комары — около 600 взмахов в секунду. Комары толкунчики, рои которых часто вьются столбом, предвещая хорошую погоду, делают 800 взмахов в секунду, а комары дергуны и комары мокрецы — даже до 1000 взмахов в секунду! Такой высокий ритм работы крыльев (а он присущ большинству хорошо летающих форм) убедительно говорит о колоссальной прочности крыльев. Крыло насекомого "оснащено" большим количеством разнообразнейших микроскопических органов чувств. Крохотные колбочки, щетинки, волоски, различаемые лишь при многократном увеличении под микроскопом, сложные устройства, называемые хордотональными сенсиллами, — вся эта удивительная аппаратура помогает насекомому отлично ориентироваться в пространстве. Одни органы регистрируют скорость встречного потока воздуха, другие выполняют осязательную функцию, третьи регистрируют крутящие моменты в разных направлениях. Остается только пожелать, чтобы самолеты будущего располагали комплексом столь точных, малогабаритных и высоконадежных в работе приборов!

Характер полета насекомых чрезвычайно разнообразен. Некоторые виды могут парашютировать. Такой полет наблюдается при роении поденок; при этом насекомое, взлетев вертикально на 1 — 2 м вверх и остановив крылья в несколько приподнятом положении, медленно падает вниз. В замедлении спуска, кроме крыльев, большую роль играют длинные хвостовые нити. Вследствие сопротивления воздуха они раздвигаются, загибаются концами вверх и тянут за собой и конец брюшка. Когда насекомое снова начинает работать крыльями, набирая высоту, хвостовые нити сближаются, их концы загибаются вниз и брюшко опускается. Таким образом, это настоящий парашютный спуск, но здесь парашютируют не только плоскости крыльев, но и хвостовые нити. Крупным формам свойствен планирующий полет: насекомое "выключает мотор" и в течение некоторого времени движется вперед — планирует. Например, крупная бабочка перламутреница планирует в течение 20 сек со скоростью 1 — 3 м/сек, а крупная стрекоза, используя на высоте 3 — 4 м токи воздуха, восходящие от нагретой почвы и растительности, может планировать до 4 — 5 мин. Но поскольку планирующий полет требует большой абсолютной величины крыла, он не получил

большого развития у насекомых.

Основной формой полета насекомых является гребной полет, т. е. полет в результате непрерывных ритмических взмахов крыльями. Познакомимся теперь с механизмом гребного полета, с аэродинамическим эффектом движения крыла на двух схемах Маньяна (рис. 18). На первой схеме (А) показана стадия опускания крыла, на второй (Б) — стадия его подъема.

В полете крыло насекомого работает то верхней, то нижней поверхностью, поворачиваясь вокруг продольной оси насекомого. Когда крыло переходит из положения I в положение IV, оно бьет сверху вниз своей нижней поверхностью (положения II и III показывают это особенно ясно). Возникает подъемный эффект, в результате которого тело насекомого поднимается вверх. При переходе из положения IV в V крыло поворачивается вокруг продольной оси и, пройдя через вертикальное положение, переходит в наклонное — нижним краем вперед. После этого начинается обратное движение крыла, т. е. его подъем вверх, изображенный на схеме (Б). Нетрудно увидеть, что, переходя из положения VI в VII и VIII, крыло, словно весло, ударяет спереди назад. Вследствие этого тело насекомого получает толчок вперед. Дойдя до крайней верхней и задней точки, крыло снова поворачивается около своей продольной оси, затем принимает горизонтальное положение, и цикл повторяется вновь. Первую часть траектории крыла называют подъемной, или элеваторной, вторую — пропеллирующёй. За полный цикл вершина крыла описывает по отношению к телу насекомого восьмеркообразную кривую, наклоненную верхним концом назад, или лемнискату, которая при движении растягивается в кривую, напоминающую синусоиду (рис. 19). Благодаря большой частоте взмахов элеваторный эффект аэродинамически сливается с пропеллирующим, и насекомое движется вверх и вперед. Таким образом, согласно теории Марея — Бюлля — Маньяна, принцип работы крыла насекомого столь же прост, сколь и совершенен.

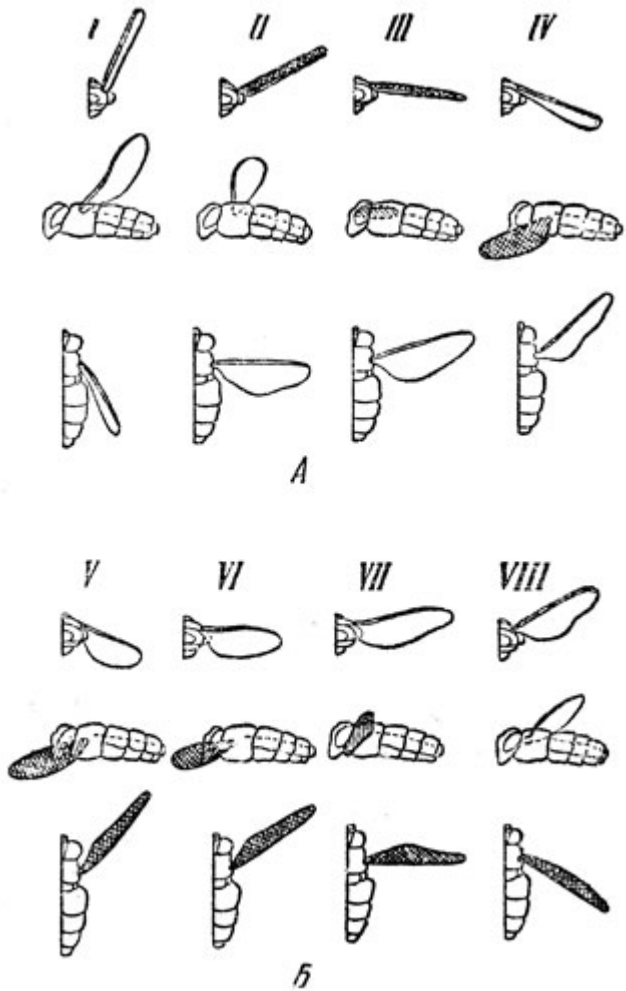


Рис. 18. Правое крыло летящего насекомого в основных положениях I — VIII. Вид сзади (вверху), сбоку (в середине) и сверху (внизу). Обращенная к зрителю вентральная поверхность заштрихована накрест, когда она видна, и косо, когда она заслонена туловищем (по Маньяну)

Итак, крыло насекомого в полете все время меняет свое положение относительно тела и воздуха, постоянно меняет угол атаки и скорость. Это открывает огромные возможности для активного воздействия на угол атаки, потому что всегда можно подобрать такие режимы взмаха, чтобы свести лобовое сопротивление к минимуму.

Вот наглядное тому подтверждение. Недавно советские инженеры Н. В. Погоржельский, И. Н. Виноградов и Г. А. Гладких спроектировали по принципу работы крыла насекомого ветряк.

Использование в его конструкции восьмеркообразного взмаха

(особыми добавочными и подвижными лопастями) принесло ощутимый эффект по сравнению с работой обычных ветряков. Такой ветряк может работать при очень малых скоростях ветра и практически бездействует только при полном штиле.

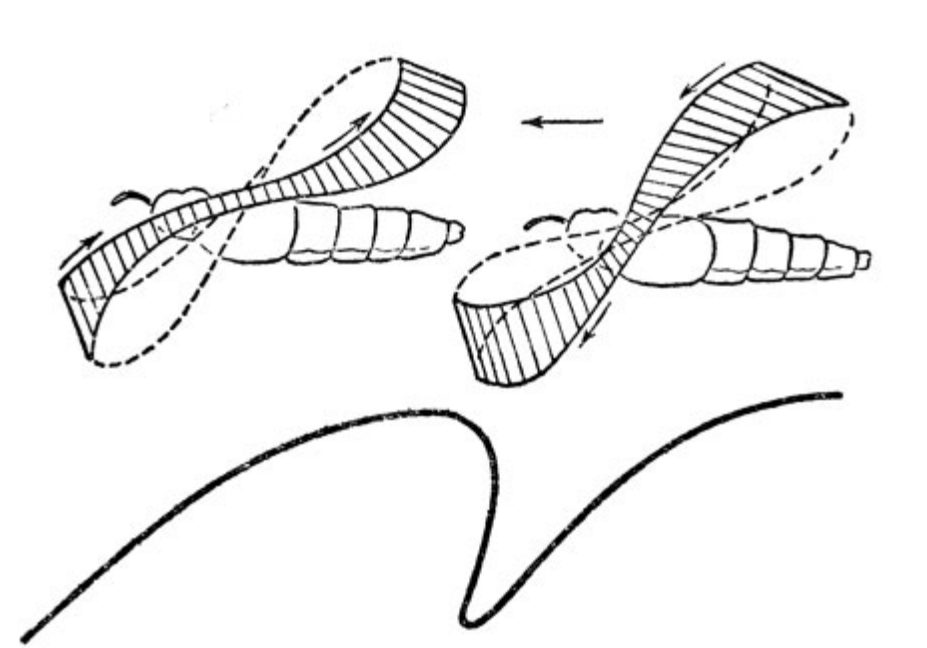


Рис. 19. Траектория, описываемая концом крыла насекомого. Вверху — относительно его тела, внизу — относительно неподвижного наблюдателя (по В. Ковалеву и С. Ошанину)

Гребной полет имеет у насекомых различные формы. Он является предпосылкой для планирования и парашютирования, а главное — позволяет достигать больших скоростей. В 1937 г. в одном из солидных американских журналов появилось сообщение о том, что определенный вид мух способен летать со скоростью до 1554 км/час. Публикация была воспринята по-разному: одна часть читателей была ошеломлена сообщением, другая — приняла сенсацию восторженно. Но все это длилось недолго — возмущенные физики заявили, что в рамках элементарных законов природы полет мухи со сверхзвуковой скоростью невозможен. Однако скорости перемещения насекомых достаточно велики. Тот, кому приходилось гоняться за бабочками, знает, что и капустница, и белянка, и бабочка адмирал, если они вздумали лететь на дальнее расстояние, мгновенно превращаются из еле-еле порхающих созданий в скоростные махолеты, способные развивать скорость до 40 км/час. Во всяком случае, угнаться за ними — дело совершенно

безнадежное. Известен случай, когда бабочка данаида, выпущенная в Бристоле, пролетела за 5 час около 130 км.

Точно определить абсолютные скорости полета насекомых в естественных условиях очень трудно. Карл фон Фриш, например, выпускал занумерованных пчел на большом расстоянии от улья, куда они немедленно возвращались. Моменты выпуска и возвращения в улей точно регистрировались. В этих опытах скорость полета равнялась 23,5 км/час. Другие исследователи установили, что медоносная пчела может летать со скоростью до 50 км/час. Французский ученый А. Маньян (1934 г.) прикреплял к телу насекомого тонкую нить, которая сматывалась с легко вертящегося барабана, и таким образом определял скорость полета насекомых 30 видов. Однако этот метод далеко не безупречен, поскольку вес нити и трение оси барабана, несомненно, уменьшали скорость полета насекомых. Ныне, используя комплекс новейших методов и средств исследования, ученым все же удалось получить достаточно достоверные данные о скорости полета ряда насекомых. Так, майские жуки пролетают в секунду до 3 м, шмель — до 5 м, жуки-навозники — до 7 м, стрекозы — до 10 м. Бабочка олеандровый бражник — жительница средиземноморских тропиков — по неизвестным причинам нередко прилетает к берегам Балтийского моря. Расстояние в 1200 км она покрывает менее чем за сутки, т. е. летит со средней скоростью 15 м/сек, или 54 км/час. Из известных нам насекомых наибольшей скоростью горизонтального полета, по-видимому, обладает крупная стрекоза дозорщик. Не раз наблюдалось, что она подолгу сопровождала в полете учебный самолет, летевший со скоростью 144 км/час и более, и временами даже обгоняла его!

Абсолютные скорости полета насекомых зависят от длительности полета, температуры воздуха, скорости и направления ветра и ряда других параметров. Но при всех благоприятных условиях абсолютная скорость насекомых, за исключением таких, как бабочки бражники, стрекоза дозорщик, все же очень мала, в десятки раз меньше, чем у современных самолетов. Сравним скорости самолета со скоростями птиц и насекомых. Если скорость самолета равна 900 км/час, то для стрижа она равна 100, для скворца 70, для вороны 50 и для шмеля 18 км/час. Зато не может не вызвать самого большого восхищения относительная скорость полета насекомых. Если сравнить относительные скорости для тех же примеров, т. е. подсчитать, сколько раз за единицу времени данный летун успеет отложить длину своего тела в полете, то оказывается, что относительная скорость больше всего у насекомого и меньше

всего у самолета!

Большинство насекомых (даже хорошо летающих), видимо, ограничивается небольшими перелетами. Так, медоносная пчела летает за нектаром на расстояние (в среднем) 1,5 — 2,25 км. Но для того, чтобы собрать 400 г меда, она должна, по расчетам пчеловодов, совершить от 40 до 80 тысяч полетов, т. е. в общей сложности должна пролететь расстояние, равное двум окружностям Земли! Известно немало случаев "беспосадочного перелета" насекомых из одной местности в другую, находящуюся на большом расстоянии от первой. В Японии, например, часто наблюдается перелет стрекоз между островами, удаленными друг от друга на 50 — 60 км. Известны перелеты лугового мотылька из Кокчетава в Актюбинск и другие пункты на расстояния 400 — 450 км. Зарегистрированы случаи перелетов роев саранчи через Красное море, где промежуточные посадки исключены. В научной литературе имеются указания на то, что австралийских стрекоз ловили в открыто океане на расстоянии 1540 км от их родного материка. Многие бабочки (среди них наши адмиралы) проделывают путь в Африку, а следующее поколение возвращается обратно в Европу. Одной из рекордсменок по дальности полетов является американская крупная бабочка данаис — она перелетает из Мексики в Канаду и Аляску, покрывая, таким образом, расстояние до 4000 км.

Разумеется, при таких перелетах нельзя не учитывать воздушных течений. Но как бы то ни было, собранные учеными данные убедительно говорят о том, что маленькие, нежные на вид существа — насекомые (речь идет о насекомых отдельных видов) способны находиться в воздухе в течение многих часов и' преодолевать гигантские расстояния. Этим они, безусловно, обязаны совершенству своего летательного аппарата и главным образом высокой экономичности работы своего "мотора". По экономичности полета многие насекомые превзошли даже птиц. Так, саранча в полете теряет примерно 0,8% своего веса за час полета. "Горючим" для ее мышечного двигателя служат жировые запасы. У тех насекомых, которые расходуют в полете углеводы, потери веса больше: например, плодовая мушка дрозофила теряет за час полета 7 — 10% своего веса. Интересный расчет экономичности полета пчелы произвел кандидат биологических наук Ю. М. Залесский. Вес пчелы с грузом нектара и пыльцы равен примерно 0,2 г, вес мышц, приводящих в движение крылья, составляет меньше 15 % веса насекомого. Если пчела пролетает от места сбора нектара и пыльцы до улья 3 км, то совершенная ею работа исчисляется в 0,6 кгм. Известно, что 1 кгм работы соответствует 0,0024 ккал. Следовательно, произведенная пчелой

работа (0,6 кгм) эквивалентна 0,00144 кал. Сгорая в организме при совершении работы, 1 г сахара дает 4,1 кал. Поэтому пчела, пролетая расстояние в 3 км, расходует только 0,00035 г сахара. В зобе пчелы помещается 0,02 г нектара с концентрацией в нем сахара, равной 20%; иными словами, в зобе находится 0,004 г чистого сахара. Следовательно, даже при расстоянии 3 км полет пчелы вполне рентабелен, так как расход "горючего" — сахара — не превосходит 9 % полезного груза!

Теперь сопоставим приведенные данные с соответствующими данными для летательных аппаратов, созданных человеком. Вертолет расходует за час полета 4 — 5% веса (разумеется, речь идет о топливе), а реактивный самолет — 12%. Как видно, инженерам стоит поучиться искусству экономии горючего в полете у саранчи, да и у пчелы тоже.

Высокая экономичность полета насекомых в значительной степени обусловлена режимом работы их крыльев. Так, скорость взмаха, т. е. скорость, с которой движется конец крыла по отношению к телу насекомого, довольно велика. По Маньяну, у стрекозы она равна (для заднего крыла) 2,75, у пчелы — 5,5 и у каллифоры — 8,4 м/сек. Теперь остановимся на ритме ударов крыла. Полет начинается с редких взмахов, свободно улавливаемых глазом, затем взмахи крыльев становятся значительно чаще и полет сопровождается гудением и жужжанием. Несомненно, что частота последовательных сокращений мышц крыла у насекомых значительно больше, чем у позвоночных. Для сравнения укажем, что черный гриф, у которого размах крыльев превышает длину тела почти в 3 раза, делает в течение секунды всего один взмах; фазаны, куропатки, перепела, рябчики, стремительно перелетающие по прямой, в основном на короткие расстояния, делают в секунду до 5 взмахов крыльями. В отличие от птиц, у хорошо летающих видов насекомых с небольшими крыльями частота взмахов очень высока. Оказывается, что сила, необходимая для удержания в воздухе разных насекомых одинакового веса при помощи взмахов крыльями, обратно пропорциональна частоте взмахов. Насекомое, делающее 55 взмахов в секунду, расходует вдвое больше мощности, чем насекомое того же веса, но делающее ПО взмахов в секунду. Исследования показали также, что при одинаковых условиях вес поднимаемого груза зависит от частоты взмахов крыльями. В этом отношении весьма показателен полет медоносной пчелы. Установлено, что рабочая пчела, вылетающая из улья за взятком, делает в среднем 180 взмахов крыльями в секунду. Когда же она возвращается с грузом, число взмахов возрастает до 280 — 330. Очевидно, наделяя медоносную пчелу

способностью делать очень частые взмахи крыльями, природа имела в виду дать ей возможность нести, помимо веса своего тела, добавочный груз — взяток (нектар, пыльца). Расчеты показывают, что если бы пчела делала не 280 — 330 взмахов в секунду, а 560 — 660, т. е. вдвое больше, то она могла бы переносить по воздуху груз весом в 16 таких же пчел, как и она сама!

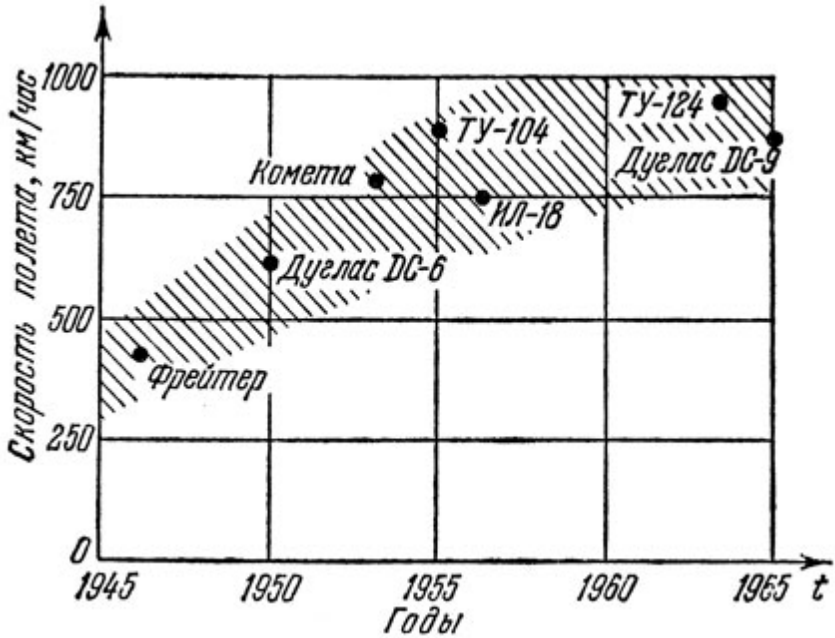


Рис. 20. График роста скоростей пассажирских и транспортных самолетов за последние 20 лет (по В. Мясищеву)

Весьма поучительно проведенное учеными сравнение летных характеристик насекомых и летательных аппаратов, построенных человеком. Оказывается, природа испокон веков великолепно "знала" формулу, которую не так давно вывели математики. Эта формула — очень простое соотношение, которое называют числом Рейнольдса[3]. В числителе — произведение размаха крыльев тела на скорость его Движения, в знаменателе — кинематический коэффициент вязкости воздуха v. Так вот, это самое число Рейнольдса — одна из самых важных летных характеристик. Чем больше число Рейнольдса, тем интенсивнее бесчисленные воздушные водовороты, завихрения около крыла самолета, и он тормозится. У современных пассажирских лайнеров число Рейинольдса громадно — порядка миллионов, тогда как для саранчи оно примерно равно 2000!

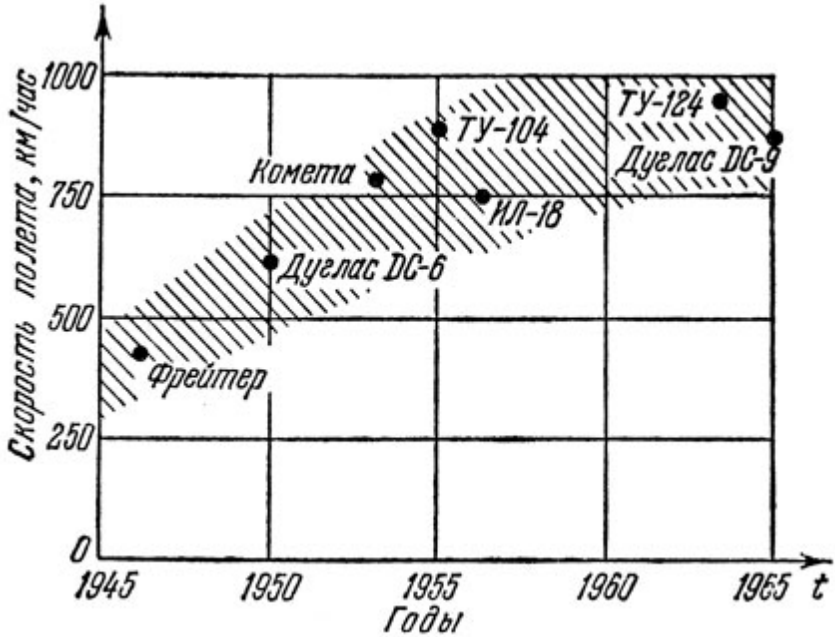


Рис. 21. График роста длины взлетно-посадочных полос за 20 лет (по В. Мясищеву)

Не менее остро, чем проблема повышения экономичности полета самолетов, ныне стоит вопрос о создании летательных аппаратов, не требующих длинных взлетно-посадочных полос и способных садиться и взлетать почти вертикально. Можно назвать несколько причин, выдвинувших эту задачу в число самых актуальных проблем современности. По утверждению известного советского авиаконструктора В. Мясищева, основная причина — стремительный рост скорости полета самолетов. С 1945 по 1965 г. только у пассажирских и транспортных самолетов скорость выросла в среднем в 2 раза (с 350 — 450 до 700 — 1000 км/час) и практически приблизилась к околозвуковым скоростям (рис. 20). Чем выше скорость самолета, тем больше, как правило, и его пробег при посадке. Головокружительная скорость при посадке, достигающая 250 — 300 км/час, требует огромных посадочных полос. За последние 25 лет их длина увеличилась более чем в 3 раза — с 700 — 800 м до 2,5 — 3 км (рис. 21). Столь большие размеры взлетно-посадочных полос и чрезмерно высокий уровень шума, создаваемого мощными двигательными установками, заставляют располагать аэродромы далеко за пределами городов. В результате мы оказались свидетелями своеобразного парадокса: увеличение скорости полета на маршрутах средней протяженности весьма мало сказывается на сокращении общей продолжительности путешествия. Например, на маршруте Москва

— Ленинград чистое время полета равно 50 мип и составляет примерно $^1/_3$ от общего времени, затрачиваемого пассажиром. А остальные 2/3 — больше 1,5 час — приходятся на поездки из города в аэропорт отправления и из аэропорта назначения в город. Вторая причина актуальности проблемы вертикального взлета и посадки связана с появлением тяжелых транспортных летательных аппаратов. Практика показала, что эти аппараты могут успешно решать такие важные народнохозяйственные задачи, как доставка грузов, машин и оборудования в труднодоступные, удаленные от основных дорог районы новостроек. Получаемый при этом эффект значительно возрос бы, если бы транспортные самолеты обладали способностью совершать взлет и посадку на небольшие, специально не подготавливаемые площадки. Необходимость в подобных машинах испытывает и военно-транспортная авиация. Наконец, третья причина носит сугубо военный характер. Так, например, самолеты-перехватчики не имеют времени разгоняться по бетонированным дорожкам аэродромов. Они должны свечой взмывать вверх на перехват противника. Упомянем еще одно обстоятельство. Боевые сверхзвуковые самолеты базируются сегодня на аэродромах с бетонированными взлетно-посадочными полосами длиною до 3,5 км. Не говоря уже о том, что строительство подобных сооружений связано с большими затратами, эти аэродромы легко обнаружить и разрушить. Больше того, но мере развития боевых действий такие стационарные аэродромы могут оказаться на большом удалении от района применения самолетов, эффективность использования которых при этом существенно снизится. Решение этого вопроса связывают также с созданием не зависящих от аэродромов боевых машин с вертикальным взлетом и посадкой.

За последнее время предложено немало способов уменьшения длины разбега самолетов. Здесь и применение ракет, и форсирование двигателей, и т. п. Для сокращения пробега самолетов применяют тормоза, реверсивные винты, тормозные щитки на крыльях и фюзеляже, парашюты и тормозные приспособления, устанавливаемые на посадочных полосах. Все это несколько задержало увеличение размеров аэродромов, но, несмотря ни на что, аэродромы для современных самолетов имеют огромную протяженность. Чтобы избавиться от бетонированных дорожек, иногда применяют взлет со специальной тележки, оставляемой на земле, посадку на лыжи и др.

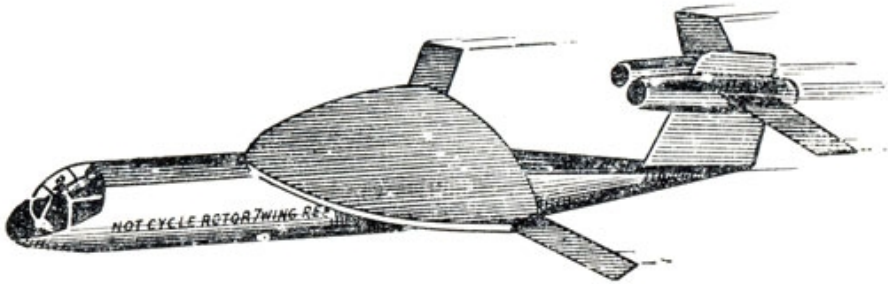


Рис. 22. Американский экспериментальный вертикально взлетающий аппарат с гибридным несущим трехлопастным ротором

Но все это полумеры. Для истребителя-перехватчика, например, они не подходят. Он должен взлетать и садиться без разбега, с очень небольшой площадки. Не подходят они и для пассажирских и транспортных аппаратов, обладающих высокой скоростью полета и большой грузоподъемностью. И вот десятки и сотни инженеров разных стран продолжают ломать голову над тем, как же решить эту задачу, которая сегодня кажется неразрешимой. Изобретательная человеческая мысль не желает мириться с пессимистическими прогнозами. Стремление решить проблему вертикального взлета и посадки наиболее эффективным образом привело к появлению самых неожиданных проектов летательных аппаратов. Так, конструкторы одной американской фирмы наделили свою новую вертикально взлетающую машину (рис. 22) легким алюминиевым ротором треугольной формы с тремя лопастями по углам. После осуществления взлета ротор выключается, одна из его лопастей "выстраивается" вдоль фюзеляжа, а поднимающиеся из него специальные створки закрывают зазор "лопасть — фюзеляж". Остальные две лопасти при этом превращаются в придатки треугольного крыла и участвуют в создании подъемной силы, удерживающей машину в воздухе. Новый вид вертолета-самолета развивает скорость в горизонтальном полете до 700 км/час. При приземлении аппарата ротор вновь приводится в движение, и машина спускается по вертикали на землю, не требуя аэродрома. Ротор аппарата вращается газовой турбиной. Движение по горизонтали осуществляется на реактивных двигателях, находящихся в конце фюзеляжа. Идею вращающегося треугольного крыла использовали и конструкторы другой американской фирмы. Больше того, они развили ее дальше. В предложенном ими проекте самолета "Гелиплейн" машина снабжена двумя вращающимися треугольными крыльями, но уже

без концевых лопастей. Роль последних в создании необходимой вертикальной тяги, по замыслу конструкторов, должны выполнять отклоняющиеся концевые части крыльев. Предполагается, что подобные машины, обладая способностью вертикального взлета и посадки, смогут развивать скорость до 950 км/час. Еще более оригинальный проект вертикально взлетающего пассажирского аппарата предложил немецкий изобретатель Рейнхольд Каллетш. Во время стоянки на земле эта машина должна напоминать самолет без крыльев, опирающийся на телескопические стойки шасси длиной 5 м. Особенностью этого аппарата является подъемное устройство, представляющее собой три вращающиеся в перпендикулярной к фюзеляжу плоскости штанги-спицы, на концах которых шарнирно укреплены эллипсообразные пластины-крылья. На взлете и при посадке для вращения такого составленного из крыльев "винта" должны применяться укрепленные на штангах реактивные сопла, к которым подаются газы от турбореактивных двигателей самого аппарата. Аналогичное устройство, но уже меньших размеров предусмотрено и на хвосте фюзеляжа. Во время вращения "винтов" специальное приспособление будет управлять положением пластин-крыльев с таким расчетом, чтобы они все время находились под некоторым углом атаки к набегающему потоку и, следовательно, создавали необходимую подъемную силу. После осуществления вертикального старта "винты" будут останавливаться, и их пластины-крылья станут выполнять свои традиционные функции.

Можно было бы рассказать по меньшей мере еще о двух десятках "летающих неожиданностей", существующих либо еще только на листах ватмана, либо в виде экспериментальных машин. Однако ни один из предложенных проектов не дает авиаконструкторам права утверждать, что проблема вертикального взлета и посадки решена. Не говоря уже о многочисленных технических трудностях, препятствующих созданию высокосовершенных вертикально взлетающих самолетов, здесь еще приходится считаться с экономической стороной проблемы. Проведенные одной американской фирмой исследования показывают, что стоимость аппаратов вертикального взлета и посадки будет почти вдвое, а эксплуатационные расходы — примерно на 75% больше, чем у современных самолетов. Нет нужды доказывать, что решать проблему вертикального взлета и посадки такой дорогой ценой нельзя.

Где же выход? Да опять-таки в применении "изобретенного" природой механизма машущего полета и прежде всего в

моделировании довольно широко распространенного среди насекомых "стоячего" полета. Стоячий полет, т. е. полет, при котором организм при помощи крыльев может держаться в воздухе совершенно неподвижно, является разновидностью гребного полета. Все, вероятно, видели летом небольших мух, "висящих" в воздухе как бы в одной точке (при этом тело насекомого большей частью занимает горизонтальное положение). Время от времени они внезапно передвигаются на несколько десятков сантиметров и вновь неподвижно "застывают" в воздухе. Передвижение происходит настолько быстро, что уловить его нельзя, можно лишь убедиться, что муха исчезла с прежнего места и появилась в другом. Это мухи семейства сирфид (журчалки). Их стоячий полет может длиться часами и, по-видимому, не утомляет насекомое. Сирфиды могут "выключать" пропеллирующую часть своего полета, оставляя только подъемную (элеваторную), поэтому они не подвигаются вперед и "зависают" неподвижно в любой точке пространства. Траектория перемещения крыла у них изменена следующим образом. Крыло опускается, не заносясь вперед. Оно ударяет, таким образом, вниз всей своей поверхностью и дает элеваторный эффект. Дойдя до предела опускания, крыло поворачивается на 90° вокруг своей продольной оси передним краем вверх, так что плоскость крыла становится вертикально. В таком положении оно возвращается по прямой вверх, прорезая воздух передним краем, как ножом. При таких условиях поднятие крыла не дает пропеллирующего эффекта и вся работа крыла ограничена элеваторными ударами. Достигнув верхнего положения, крыло поворачивается и снова принимает горизонтальное положение. В эту долю секунды муха успевает "начать падение", завершающееся мягкой вертикальной посадкой, т. е. делает то, на что способен не каждый вертолет. Приведем еще один пример. Пчела, садясь на цветок, на момент неподвижно повисает в воздухе, затем вытягивает вперед все шесть лапок и плавно опускается всей тяжестью своего тела на избранную "посадочную площадку", удерживаясь на ней лапками с цепкими коготками. Полная безопасность посадки! И еще одна деталь. В отличие от вертолета, нуждающегося для посадки в довольно ровной, горизонтальной площадке, пчела и другие насекомые садятся на неровный и часто совсем не горизонтально расположенный предмет, в приведенном примере на цветок. Даже в этой небольшой детали посадки есть чему поучиться у насекомых.

Большой интерес для техники представляет высокая маневренность полета насекомых, умение виртуозно управлять им. Так, бражники развертывают на лету свой длинный хоботок и

вводят его в цветок, не присаживаясь. Например, бабочка языкан питается на льянке, у которой вход в венчик закрыт двумя губами. Ориентация хоботка должна быть здесь очень точной, и насекомому в этом помогает работа крыльев. Бражник при этом покачивается в воздухе около цветка вправо и влево. Одними из самых поворотливых в воздухе насекомых являются многие мухи. Так, даже на комнатной мухе, которая не принадлежит к особенно хорошо летающим формам, можно наблюдать, как одна особь гоняется за другой. Муха очень быстро бросается в воздухе из стороны в сторону, а другая муха следует за первой на коротком расстоянии, в точности повторяя траекторию ее полета. Относительно стрекоз, перепончатокрылых и бражников известно, что они могут передвигаться в воздухе не только вперед, но и назад. Немало насекомых способно выполнять в воздухе невероятные "эволюции", вплоть до самых головокружительных фигур "высшего пилотажа". В частности, равно или разнокрылые стрекозы могут вертикально подниматься и опускаться, а затем посредством быстрой авторотации переходить в обычный полет. Одна из сирфид легко делает "бочку" и "мертвую петлю" Нестерова. Более того, она может даже повисать в воздухе в полной неподвижности спинкой вниз! Делается это так: сначала муха занимает нормальное положение, спиной вверх, затем она поворачивается на 90° вокруг продольной оси крыльев головой вверх, затем поворачивается в том же направлении еще на 90° и принимает положение спиной вниз. Весь этот каскад фигур насекомому удается выполнить благодаря очень большой быстроте работы рецепторного и летательного аппаратов и их точной координации. Достаточно сказать, что муха хризотоксум кувыркается в воздухе с такой скоростью, что каждый ее поворот в вертикальной плоскости занимает всего лишь 0,001 сек!

Рассмотренные выше многообразные преимущества летных характеристик насекомых побудили отдельных ученых, инженеров, изобретателей различных стран заняться разработкой энтомоптеров — аппаратов, летающих по тому же принципу, что и насекомые. За последнее время у нас в СССР и за рубежом было создано несколько моделей энтомоптеров. Некоторые из них даже поднимались в воздух. Однако соперниками самолетов и вертолетов эти экспериментальные аппараты, как известно, пока еще не стали по той простой причине, что все конструкции энтомоптеров были созданы без учета необычайно сложной кинематики и аэродинамики крыла насекомого, которое хранит еще десятки нераскрытых секретов.

Но создание энтомоптера уже не фантастика. Это вполне осуществимая машина. Следует лишь иметь в виду, что

небольшие размеры насекомых, их малый вес обусловливают совсем другую аэродинамику полета, чем та, которая возможна для больших конструкций. Здесь нельзя основываться только на законах подобия, так как с увеличением размеров энтомоптера до размеров самолета значительно меняются все соотношения между прочностью и гибкостью крыла, частотой взмахов и другими показателями. Вероятно, первые "настоящие" энтомоптеры, созданные с учетом подробных знаний о физическом механизме полета насекомых, будут летательными аппаратами так называемой "малой авиации". Управляемые по радио, они будут служить надежным средством связи, для переброски небольших грузов, для аэрофотосъемки, для подъема аэрологических приборов на высоту и других целей. Далее, энтомоптеры, по-видимому, станут удобным транспортным средством для широких масс населения. Такой махолет по своим размерам, как нам мыслится, не будет больше современного легкового автомобиля, он будет гораздо проще по конструкции, легче в управлении и научиться летать на нем можно будет за несколько дней. Для полета из Москвы в Ленинград потребуется израсходовать не более... десятка литров бензина!

Есть еще один вид махолетов, попытки создания которых почти всегда оканчивались неудачами или едва уловимыми успехами; над ними работали многие поколения изобретателей, а некоторые упорно продолжают трудиться и сейчас. Это — мускульный махолет, или попросту мускулолет. Аппараты с машущими крыльями, напоминающими птичьи, строят из самых легких материалов. Сами изобретатели и их немногочисленные приверженцы и помощники впрягаются в изготовленные ими механизмы и с яростью раскачивают рычаги до полной потери сил в надежде преодолеть земное притяжение. Мускулолеты подбрасывают, разгоняют на велосипедных колесах по наклонной плоскости, дают первый сильный толчок длинными резиновыми шнурами. Однако ничего обнадеживающего из проводившихся до последнего времени экспериментов извлечь не удалось, и многие изобретатели в конце концов пришли к выводу, что "человек не может летать, пользуясь только силой своих мышц". В ряде статей попытки создания мускулолетов были даже отнесены к категории бредовых идей. Но вот, сравнительно недавно, группа советских спортсменов из бухты Провидения доказала, что такой полет совершенно реален. Они сконструировали своеобразный летающий велосипед, приводимый в движение, как и обычный наземный, усилием мышц ног. На нем северянам удалось пролететь 200 — 300 и. Конструкторы одной английской фирмы и студенты Саутгемптонского университета несколько

усовершенствовали этот "летающий велосипед", и в настоящее время они уже пытаются ставить на таких мускулолетах "рекорды" дальности и маневренности.

Сегодня мускулолет еще очень несовершенен. И, вероятно, он никогда не станет транспортным средством. Но после того, как биологи и инженеры досконально изучат законы работы крыла птиц и насекомых, а энтузиасты машущего полета получат в свое распоряжение новейшие конструкционные материалы, можно надеяться, что мускулолет приобретет широкое применение в спорте. Это будет интереснейший и очень полезный спортивный аппарат, с помощью которого можно будет выполнять большие прыжки в длину и высоту, совершать довольно длительные полеты на "бреющей" траектории. Под словом "будет" мы имеем в виду оставшуюся треть XX столетия. Мы глубоко верим, что именно в наш ракетный век миф об Икаре станет былью (рис. 23). Стремление человека подняться в воздух, парить в нем, опираясь на силу собственных мышц, неукротимо!

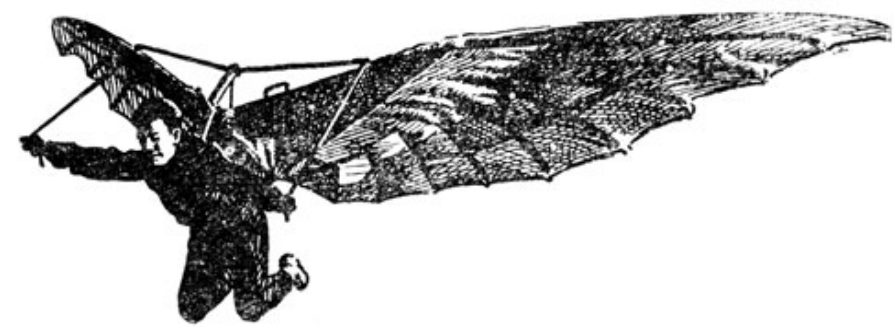


Рис. 23. Крылья Икара в ракетный век

В сущности, ученые и инженеры сейчас делают лишь первые шаги на пути к решению задачи машущего полета. Пока эта проблема полностью решена только в природе — у летающих животных. И мы не должны закрывать глаза на все те трудности, с которыми связаны исследования полета птиц и насекомых и выяснение теоретических предпосылок для создания аппаратов с машущими крыльями. Но, располагая теорией машущего полета и накопив достаточный опыт в строительстве орнитоптеров и энтомоптеров, самолетостроители, надо полагать, со временем перейдут к созданию "большой махолетной авиации". В ней, несомненно, будет использован весь арсенал разнообразных и замечательных свойств, присущих летательному аппарату насекомых и птиц, начиная от тонкого управления полетом и кончая способностью их крыльев одновременно создавать тягу и

подъемную силу. Фюзеляжи будущих транспортных и пассажирских махолетов, вероятно, будут сделаны из легкой и термостойкой пластмассы, по прочности не уступающей лучшим сортам стали; крылья, очевидно, будут изготовлены из стеклопластика или дюраля с легкой обтяжкой, по своим характеристикам приближающимся к материалам "одежды", в которую природа облачила пернатых летунов и насекомых. Из чего именно будет сделана такая обтяжка, пока трудно сказать. Очень может быть, что поначалу для этих целей строители махолетов используют уже известную нам легкую оболочку типа "ламинфло", имитирующую по своим свойствам чудесную антитурбулентную и гидрофобную кожу дельфинов. Что касается выбора источников энергии для будущих махолетов, то здесь, надо полагать, подойдут любые двигатели, вплоть до атомных, если их удастся сделать достаточно легкими.

Такие махолеты будут поднимать (на единицу мощности) больше грузов и пассажиров, стоить они будут значительно дешевле нынешних самолетов (как винтовых, так и реактивных). Можно предположить, что будут созданы и многокрылые махолеты. Несколько "асинхронных" пар узких крыльев, несомненно, обеспечат махолету значительно более высокую относительную скорость, чем широкие и короткие крылья орла или летучей мыши. Полет на махолете будет совершенно безопасен, так как машущий полет допускает очень малые, почти "нулевые" скорости. И последнее. При переходе на машущий полет отпадет нужда в строительстве длинных взлетно-посадочных дорожек и дорогостоящих аэродромов.

Рассмотрев все важнейшие аспекты проблемы машущего полета, в заключение необходимо подчеркнуть, что изучение полета птиц и насекомых нельзя считать лишь подсобным методом, призванным облегчить создание летательных аппаратов с машущими крыльями, — оно имеет гораздо большее значение. Даже если бы такие аппараты и не были созданы либо их практическое применение на первых порах оказалось бы недостаточно эффективным, все равно наука останется в выигрыше, так как бионические исследования полета птиц и насекомых (как и вообще механизмов локомоции летающих и плавающих животных) сулят открыть новые страницы в аэро- и гидродинамике.

Беседа третья. Биотоки в упряжке

Представьте себе, что по рельсам модели кольцевой железной дороги бойко бегает маленький локомотивчик с вагончиками. Он меняет скорость и направление движения, повинуясь в буквальном смысле слова мановению руки сидящего в кресле и лукаво улыбающегося человека. Люди стоят вокруг модели как зачарованные. Им кажется, что из сказки в жизнь пришел волшебник и удивляет всех присутствующих своим могуществом. Но вот легким взмахом кисти "волшебник" остановил игрушечный поезд, и вы видите, что из-под эластичной манжеты, надетой на правую руку "чародея", откровенно свисают провода, которые тянутся к двум небольшим коробочкам, положенным на пол, а оттуда — к железной дороге...

Что же это такое? Как удается человеку лишь одним мановением руки, не прикасаясь к паровозу, останавливать и пускать в ход, менять скорости и направление его движения.

Оказывается, когда человек двигает рукой или ногой, то в его мышцах возникают биотоки. Да, да, те самые биотоки, действие которых обнаружил еще в конце XVIII века известный итальянский физиолог Луиджи Гальвани. Элементарным источником биотоков, своеобразным биогенератором служит живая клетка. Человек может по своему желанию вызывать появление биотоков в мышце и регулировать их величину, даже не производя движения. Достаточно лишь мысленного приказа, т. е. принятия решения — пусть мышцы руки сократятся. "Депеша" с распоряжением побежит по нервному волокну от "командного пункта" к исполнительному органу. Весь процесс протекает почти мгновенно. Но что значит "почти"? Биотоки, возникающие при работе мышц, — это разряды, длительность которых равняется тысячным долям секунды, а амплитуда — тысячным долям вольта.

Возникающие в мышцах биопотенциалы нетрудно снять простыми электродами и усилить. Это и сделал автор модели железной дороги, старший инженер Центрального научно-исследовательского института протезирования и протезостроения Е. Полян. Для управления локомотивчиком он создал устройство, в котором использовались два сигнала: один, снимаемый с мышц, сгибающих кисть, другой — с мышц, которые ее разгибают. Почему два? Один из них преобразуется в команду "передний ход", другой — в команду "задний ход". Вот, пожалуй, и весь "секрет" описанного эксперимента, если не касаться трудностей защиты слабенького начального импульса от шумовых помех и

других "подводных камней", которые пришлось обходить энтузиасту биоточного управления.

Мозг, командуя движениями руки, продолжает посылать к мышцам биотоки — слабые электрические сигналы — и тогда, когда часть руки ампутирована. Но в этом случае импульсы, поступая в нервные окончания культи и возбуждая усеченные мышцы, дают лишь ощущение тех или иных движений. Реализовать их мышцы не могут: исполнительный . механизм — часть руки с кистью — отсутствует. При этом, чем отчетливее и острее эти ощущения, тем больше сосредоточивается на них внимание инвалида. Утрата руки трагична. Пропадает непревзойденный, виртуознейший инструмент природы, способный создавать бессмертные полотна, ваять и строить, извлекать из неодушевленного рояля чарующую музыку Чайковского, умеющий водить трактор, управлять любым станком и космическим кораблем. И дело не только в том, что человек уже не может стать ни художником, ни скульптором, ни музыкантом, ни каменщиком, ни космонавтом. Теряется нечто большее: созидательные отделы мозга заходят в тупик. Как бы ни пылало и ни буйствовало воображение, как бы ни велика была сила воли и мощь таланта, ничто уже не может вызвать к жизни картины Рембрандта или Репина, скульптурные творения Родена или Коненкова, музыку Паганини или Глинки. Именно поэтому, начиная с античных времен и до наших дней, человеческая изобретательская мысль с неотступной страстностью и упорством ищет способы вернуть руку тем, кто ее лишился.

История протезирования знает немало попыток непревзойденных мастеров точной механики воссоздать подвижную руку, активный протез. В кожаных перчатках, начиненных множеством шестеренок и рычажков, воплощалась логика французских геометров и волшебство швейцарских умельцев-часовщиков. Но конструкции оставались сложными узлами мертвого металла: слабые остатки мышц неспособны были вдохнуть жизнь в стальное подобие кисти...

И вот поздним осенним вечером в октябре 1956 г. в лабораторию к известному советскому ученому, специалисту по теории машин и автоматов А. Кобринскому пришел специалист по технике протезирования Я. Якобсон. Гость рассказал о механических протезах предплечья, объяснил принцип их действия, сетовал, что механические протезы с большим трудом воспроизводят даже простейшие движения. Под конец беседы у ученых возникла идея использовать для управления протезом руки... биотоки.

Как известно, путь от идеи до ее реализации нелегок. Нужно

было всесторонне исследовать проблему биоэлектрического протезирования, провести огромную теоретическую и экспериментальную работу. Все исследования были поставлены широко. Помимо А. Кобринского и Я. Якобсона за разработку принципиально нового типа протеза взялись многие сотрудники Центрального научно-исследовательского института протезирования и протезостроения во главе с его директором профессором Б. Ильиным-Поповым.

Первая модель искусственной руки, управляемой биопотенциалами, была изготовлена в 1957 г. Она имела электромагнитный привод и довольно громоздкую систему усиления и преобразования электрических сигналов, снимаемых с какой-либо мышцы. Человеку, использующему такую руку, пришлось бы все время держаться близ штепсельных розеток и носить на себе большой ламповый усилитель. Кроме того, искусственная рука воспринимала только общие сигналы типа "сжать пальцы", "разжать пальцы", а не сигналы о том с какой силой это делать. Попытка поздороваться с человеком, обладающим такой "железной рукой", неизбежно привела бы к травме. Однако при всех своих недостатках первая модель биоманипулятора позволила решить сложнейшую инженерную проблему, о которой не решались писать даже самые отчаянные фантасты: необычная система включалась и выключалась только волей, только невысказанным желанием человека. Конструкторы нашли верный путь обработки и посылки биопотенциалов к исполнительному органу — искусственной руке.

Постепенно модель биоманипулятора совершенствовалась. И вот летом 1960 г. участники I Международного конгресса Федерации по автоматическому управлению, происходившего в Москве, стали очевидцами такой совершенно необычной картины. Пятнадцатилетний мальчик, не имеющий кисти руки, взял искусственной рукой кусок мела и написал на доске ясно и четко: "Привет участникам конгресса!" Кисть протеза оказалась живой. Она сжималась и разжималась. Ее движениями управляли мышечные биотоки. Так впервые была реализована родившаяся на стыке физиологии и автоматики идея управления техническим устройством с помощью биоэлектрических сигналов, которые вырабатываются в живом организме.

Любопытно, что некоторые зарубежные ученые, не принимавшие участия в работе этого конгресса, прочитав сообщение о демонстрации созданной советскими специалистами биоруки, отнеслись к нему с недоверием. В частности, один из американских ученых в 1961 г. писал: "Русские заявляют, что они располагают устройством, позволяющим управлять действиями

искусственной руки с помощью мыслей. Это фантастическая система..." Но если вы заглянете и книгу Норберта Винера "Бог и Голем", увидевшую свет уже после его смерти, то в ней вы прочитаете следующее:

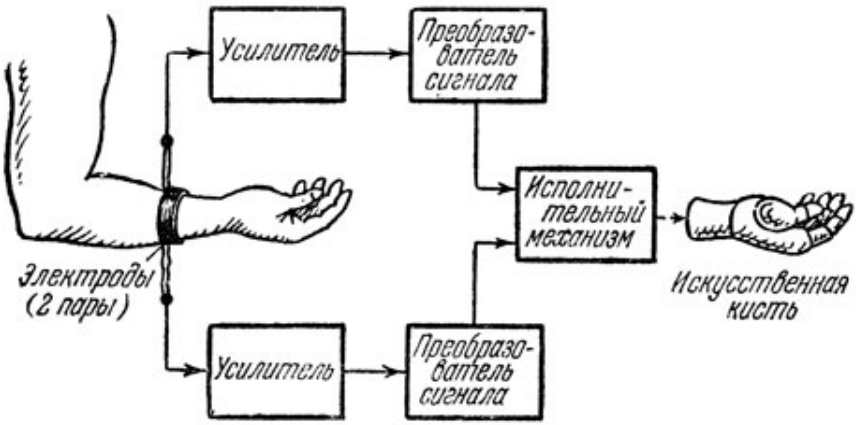


Рис 1. Блок-схема биоэлектрического протеза предплечья (по А. Бутко)

> "Представим себе, — пишет ученый, — что человек лишился кисти руки. Он лишился некоторых мышц, которые позволяли ему сжимать и разжимать пальцы, однако большая часть мышц, обычно двигающих рукой, сохранилась в культе локтевой части руки... Эти мышцы, хотя они и не могут привести в движение кисть и пальцы, которых нет, вызывают некоторые электрические эффекты, называемые потенциалами действия. Эти потенциалы могут восприниматься соответствующими электродами, а затем усиливаться и преобразовываться транзисторными схемами. Такие потенциалы можно использовать для управления движениями искусственной руки при помощи миниатюрных электродвигателей, которые питаются от батарей или аккумуляторов... Источником управляющих сигналов служит обычно центральная часть нервной системы... Подобные искусственные руки уже были изготовлены в России, и они даже позволяли некоторым инвалидам вернуться к производительному труду" (рис. 1).

Да, искусственная рука, созданная советскими учеными, вернула к производительному труду уже сотни людей как в СССР,

так и за рубежом. В благодарных письмах они называют свои протезы "необходимейшими частями тела".

...Десять лет назад, в новогоднюю ночь, когда в Риме затевались веселые гулянья и вспыхивали огни фейерверков, житель одной из тихих улочек Вечного города, сын пекаря Гоффредо Дзампетти мастерил петарду. Но парню не повезло — петарда взорвалась в его руках, не взлетев в воздух. Гоффредо лишился обеих рук. Начались дорогостоящие мытарства по итальянским клиникам, госпиталям и ортопедическим институтам. Родители хотели дать сыну хотя бы какое-то подобие рук. Но все было напрасно. Ему выдали протезы, но они оказались бесполезными: Гоффредо разжимал ладонь, а сжать ее не мог, он брал лист бумаги, но тот выпадал из непослушных пальцев. Самые простые движения стоили многих трудных и чаще всего тщетных усилий...

Но вот три года назад Дзампетти прочел в "Унита", газете Итальянской коммунистической партии, заметку о своем соотечественнике Энрико Бертини. Там описывалось, как советские врачи помогли Энрико, потерявшему на фабрике обе руки, вернуться к нормальной жизни и работе. Гоффредо решил еще раз попытать счастья. Он написал в Советский Союз, и его вызвали в Ленинград, в Научно-исследовательский институт протезирования.

Через два месяца молодому итальянцу изготовили искусственные руки и научили его пользоваться ими. В письме, отправленном на родину, Гоффредо писал:

> "Мама, теперь у меня есть руки. Найдите мне работу. Может быть, место портье... Это очень важно, найдите мне работу..."

Недавно ручной протез с биоэлектрическим управлением пришел на помощь "талидомидным" детям.

Вы, вероятно, помните трагические сообщения, опубликованные в "Известиях" №№ 184 и 282 за 1962 г, В них описывались последствия применения "тали-домида", "неироседина" и других "успокоительных средств", одно название которых заставляет и по сей день вздрагивать от ужаса многих матерей Западной Европы. Выпущенные в широкую продажу недобросовестными дельцами — фармацевтами, эти "лекарства" благодаря оглушительной рекламе быстро получили популярность как снотворное средство, специально предназначенное для беременных женщин. Снадобье оказалось поистине дьявольским: дети рождались уродами, без рук или без ног, с парализованными или неразвившимися конечностями, с

искривленным позвоночником.

Вот для этих "талидомидных" детей руководители специального фонда, учрежденного в Англии, закупили в СССР лицензию на производство оригинальной конструкции биоэлектрического протеза рук. Советское изобретение оправдало надежды английских врачей. Доктор Реджинальд Джонс, глава делегации английских медиков, сказал: "Русские достигли огромного прогресса в электронной физиологии..."

Приобрела лицензию на советскую биоэлектрическую руку и Канада. Ведутся переговоры и с другими странами. Исключительно высокую оценку получило недавно советское изобретение на 50-м конгрессе итальянских травматологов. Английский писатель Джеймс Олдридж назвал это изобретение уроком гуманизма, который оставит глубокий след во многих сердцах.

Обладатель искусственной руки пользуется ею очень просто, для этого не нужно никаких неестественных усилий: легкое сокращение одной мышцы культи заставляет кисть сжаться, сокращение другой раскрывает ее. Протез надежно работает при любом положении руки. Биоэлектрическая рука не позволяет пока заниматься тяжелой атлетикой и игрой на рояле, но с ее помощью можно подымать тяжести, необходимые в быту, пользоваться иголкой и пинцетом, работать напильником, ножницами, пилой, молотком, зубилом, отверткой, печатать на пишущей машинке, писать, чертить, рисовать, пользоваться тонким измерительным инструментом, счетной линейкой, арифмометром, управлять мотоциклом и автомобилем, ремонтировать радиоаппаратуру и т. д.

Однако, как ни значительны успехи советских ученых и инженеров в создании так называемых активных протезов, изобретатели этой чудесной системы недовольны ее возможностями. Их не устраивает то, что человек не чувствует своей руки, а приобретение навыков в ее использовании и контроль за ним совершаются только посредством обратной связи через зрение. Зрение же наше не приспособлено для контроля быстро изменяющихся ситуаций. Кроме того, наш зрительный аппарат и так сильно загружен и добавление к его нагрузке функций контроля за всеми действиями протеза весьма нежелательно. Таким образом, для того чтобы человек мог при помощи биоэлектрической руки совершать очень тонкие, чрезвычайно сложные и быстрые движения, выполнять комбинации самых различных манипуляций, протез должен быть наделен эффективными искусственными средствами обратной связи, близкими к тем, которыми обладает живая рука. Другими

словами, неживую, искусственную руку нужно "оживить", "очувствить". И эту, казалось бы, фантастическую идею советские ученые решили осуществить. Первый шаг к "оживлению" искусственных рук уже сделан.

Недавно на конференции по бионике, проходившей в Баку, впервые было сообщено, что за два года в Центральном научно-исследовательском институте протезирования и протезостроения построен макет руки с чувствительными к давлению датчиками, укрепленными на кончиках пальцев. Эти датчики сделаны из токопроводящей резины или тонкой проволоки. Под влиянием усилия на датчики сигналы от них изменяют частоту вибрации зуммера, который укреплен на руке вблизи нерва, идущего в мозг.

Новый биоэлектрический протез руки, посылающий сигналы о силе сжатия пальцев в нервную систему, разработал инженер Анатолий Шнейдер. Десять инвалидов, пользовавшихся образцом уникальной "биоруки", за два-три сеанса приобретали ясное ощущение давления, приложенного к кончикам пальцев. При изменении усилия до трех килограммов разница в усилии, равная 100 граммам, уже отчетливо ощущалась!

Для передачи человеку информации о совершаемых действиях сейчас пытаются использовать в цепи обратной связи различные виды чувствительности, например вибрационную. Это позволяет выполнять строго дозированные по силе и координации двигательные акты. В Югославии создана модель протеза кисти, в которой чувствительные тензометрические элементы выполняют роль тактильного анализатора и управляют сервомотором, осуществляющим движение схватывания. И, наконец, еще одна новинка. В последнее время начинают использовать различные логические и вычислительные устройства в блоке преобразования сигналов. В протезе имеются программы различных движений, ряд сложных движений может осуществляться от одной команды.

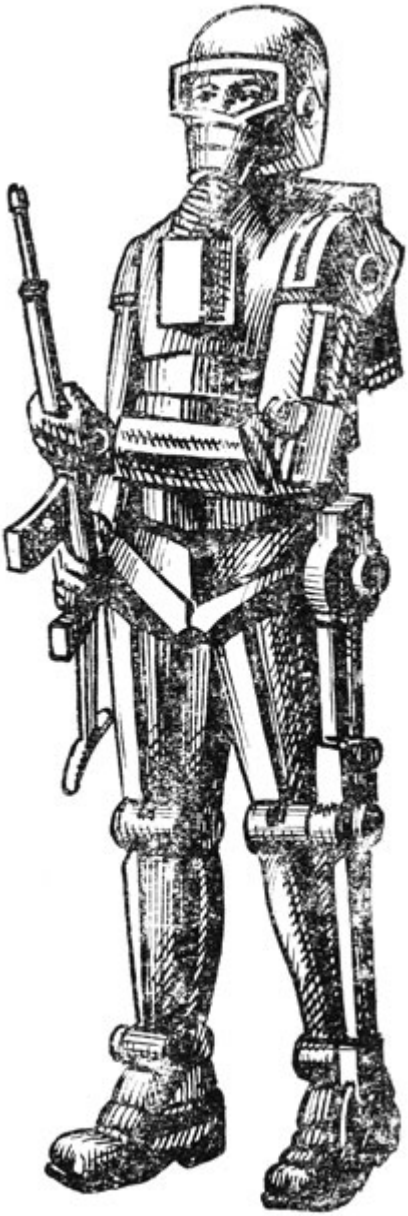


Рис. 2. Проект разработанного в США костюма 'атомного пехотинца' — 'сервосолдата'

Судя по результатам многочисленных экспериментов, использование кожно-вибрационных и электрокожных раздражений в искусственных системах обратной связи оказывается, по-видимому, наиболее перспективным, ибо получение таких раздражений не представляет труда. Однако для уточнения параметров сигналов, а также конструкции

воздействующих элементов необходимо провести еще множество экспериментов, большую научно-исследовательскую работу. И она ведется, ведется успешно. Бионики и инженеры, биологи и врачи надеются, что в будущем удастся создать такой биоэлектрический протез, который сможет чувствовать температуру, твердость и качество поверхности удерживаемого предмета. Тогда можно будет действовать искусственной рукой, как естественной, не глядя на нее. Она будет четко различать горячее и холодное, влажное и сухое, гладкое и шероховатое.

Такие искусственные руки могут быть полезны не только инвалидам, лишенным одной или обеих рук, но и совершенно здоровым людям. Ничто не мешает, например, использовать искусственную руку в качестве третьей, четвертой, пятой и шестой руки, если этого требует выполняемая работа. "Дополнительные руки", подсоединенные "в параллель" с живыми и управляемые биотоками, будут дружно помогать человеку, сделают его многоруким. Несмотря на слабость биотоков, искусственную руку можно наделить богатырской силой. Недавно в одной из лабораторий США создали сверхмощного робота высотой свыше 5 м, так сказать "Голем XX века,". Все движения этого великана управляются биоэлектрическими импульсами человека, помещенного внутри него. Человек делает движение, нужное для того, чтобы выдернуть, скажем, кол из земли, — и робот спокойно выдергивает дерево с корнем. "Мы хотели в этом агрегате воплотить все функции человека, умноженные на мощь механизмов", — заявил один из его конструкторов. А теперь посмотрите на рис. 2. Перед вами одна из последних новинок Пентагона — костюм, который, по мнению военных специалистов США, наиболее подходит для пехотинца, действующего в условиях термоядерной войны. Солдат похож на робота: тяжелый шлем, массивный панцирь, мощная броня, стальные башмаки. Трудно сказать, сколько весит этот "наряд", но человек, которого апологеты мировой войны решили облачить в такой броневой скафандр, несомненно, должен обладать сверхпрочным черепом, шеей и руками гориллы. А как же будет передвигаться это бронированное чудовище? Как сможет солдат в таком костюме вести бой, стрелять, драться в рукопашной схватке, преодолевать препятствия? Ведь часто исход боя, как известно, решают доли секунды...

Ответ на все эти вопросы должна дать одна из крупнейших американских фирм, занимающаяся по заданию Пентагона созданием "солдат-роботов". По замыслу военных деятелей США, бронированный скафандр должен приводиться в движение электромоторами, на которые будут воздействовать биоимпульсы

мозга "атомного пехотинца". Такой "сервосолдат", по мнению представителей Пентагона, легко сможет один нести тяжелое снаряжение и передвигаться бегом гораздо быстрее, чем обычные люди. Атомный пехотинец сможет также приводить в движение и летательные аппараты на мышечной энергии.

Особенно большой интерес к биоэлектрическим системам проявляют ныне специалисты, занимающиеся решением проблемы жизнедеятельности человека в космосе. Как известно, связующим звеном между человеком и машиной служит система управления космическим кораблем. Эта система — средство интеграции возможностей человека с его способностями. Между тем во время космического полета человек подвергается воздействию больших перегрузок. Так, при взлете и посадке его тело приобретает тяжесть свинца. В этих условиях довольно затруднительно пользоваться ручным управлением, так как приходится преодолевать дополнительный вес рук, возникающий вследствие перегрузок. Одна из американских фирм провела успешные эксперименты по управлению "механической" рукой с помощью биотоков. На руку космонавта надевается специальная "перчатка", которая приводится в действие области и т. д. Между тем в системе "человек — машина" так же широко и эффективно можно использовать и биотоки других мышц человека, например лицевых.

Простите, может сказать человек, я не совсем понимаю, как это будет выглядеть на практике? Да и зачем вообще надо "впрягать" мышцы лица в систему "человек — машина"? Чтобы развеять всякие сомнения на сей счет и убедиться в целесообразности такой постановки задачи, рассмотрим работу такой широко распространенной системы, как "человек — автомобиль".

Общеизвестно, что скорости современных автомобилей непрерывно увеличиваются, тогда как скорость реакции людей, сидящих за рулем, остается неизменной; она одинакова при скорости 100, 200, 300 и более километров в час. Данные статистики показывают, что большая часть автомобильных катастроф происходит из-за недостаточно быстрой реакции водителей — они не успевают вовремя затормозить, и в результате — несчастный случай. Вследствие запоздалой реакции шоферов в моменты так называемых "критических ситуаций" только в Японии за 1966 г. под колесами автомобилей погибло более 10 000 человек, а сотни тысяч получили ранения. Как же быть? Ездить медленнее? Снижать скорость автомобилей? Это невозможно. Все идет, напротив, к увеличению скорости. А нельзя ли свести до минимума запаздывание реакции шофера?

Время, которое проходит с момента решения тормозить и до собственно торможения — время реакции, можно разбить на три периода:

1) время, требуемое для передачи нервных импульсов с коры головного мозга на нервные окончания мышц ноги (при скорости импульсов 100 м/сек оно равно примерно 0,15 сек);

2) время, требуемое для перемещения ноги с педали акселератора на педаль тормоза;

3) время, требуемое для нажатия на рычаг тормоза (и остановки автомобиля).

Суммарная продолжительность всех трех перечисленных периодов, как показали исследования, в среднем составляет 0,4 — 0,5 сек. За это время при скорости 100 км/час машина проходит приблизительно 13,6 м. При такой скорости между моментом восприятия мозгом опасной ситуации и моментом торможения, т. е. за 0,5 сек, шофер может сбить неожиданно появившегося на шоссе человека или свалить машину в кювет, если не дастся объехать вдруг возникшее препятствие.

Таким образом, задача заключается в том, чтобы сократить промежуток времени между поступлением импульсов в головной мозг, их трансформацией в командные сигналы и обратным поступлением к исполнительному органу для выполнения необходимых движений. Поскольку скорость передачи нервного импульса мы увеличить не можем, остается одно: резко уменьшить проходимый им путь по цепи управления, состоящей (в общем случае ручного или ножного управления) из следующих звеньев: глаз → нервный канал → двигательный центр коры головного мозга → нервный канал → мышца → конечность → исполнительный орган → объект. Очевидно, наибольшего эффекта можно добиться, исключив из этой цепи некоторые наиболее инерционные и ненадежные звенья. Такими звеньями в нашем примере являются нога и мышца ноги. Их можно исключить из цепи управления либо использовав в качестве управляющего сигнала не биопотенциал мышцы конечности, а сигналы-команды, поступающие к ней от мозга, либо возложив функции передачи приказа от головного мозга прямо на тормоз на какую-нибудь мышцу, расположенную в непосредственной близости от мозговых центров и обладающую малой массой (чем меньше масса мышцы, тем быстрее она срабатывает). Всем последним условиям как нельзя лучше удовлетворяют мышцы бровей. Их и решил использовать в недавно созданной опытной модели вспомогательной тормозной системы сотрудник Люблянского университета инженер Водовник.

"Он нахмурил брови, и автомобиль остановился" — так

примерно начал бы свой рассказ об этом изобретении писатель-фантаст. Однако в сконструированной инженером Водовником опытной модели вспомогательной тормозной системы нет ничего фантастического. Устроена она и работает так. К обычным очкам прикреплены стальные пружинки, в концы которых вделаны серебряные контакты, прижатые к надбровным дугам (в результате этого сокращается первый период реакции). Проводнички от контактов соединены с обычным дифференциальным усилителем на транзисторах.

Выходной сигнал с усилителя подается на мультивибратор, в цепи которого стоит быстродействующее реле. Последнее передает возбуждение контактору мощного электромагнита, установленного на педали тормоза автомобиля. В момент возникновения опасной ситуации водителю достаточно нахмурить брови, и машина остановится: мгновенно включается электромагнитный тормоз (параллельно шофер действует и обычным ножным тормозом). Через 0,5 сек электромагнитный тормоз отключается и вновь готов к действию.

Как показали испытания опытной модели, такая система позволяет сократить время торможения с 0,5 до 0,15 сек, т. е. на 0,35 сек, что при скорости 100 км/час равносильно сокращению тормозного пути примерно на 9,7 м. Этого часто достаточно для предотвращения несчастного случая. В дальнейшем, совершенствуя электрическую систему, инженер Водовник надеется, что ему удастся еще больше сократить время торможения автомобиля.

Теперь представьте себе современный реактивный сверхзвуковой самолет. Это чрезвычайно сложная машина. В полете летчик должен непрерывно следить за положением стрелок десятков приборов, расположенных перед ним на щите, время от времени переключать десятки тумблеров, перемещать многочисленные рычаги. И все это необходимо выполнять в весьма неудобных условиях, обусловленных жесткой экономией места в кабине пилота. При таких обстоятельствах на лицо летчика можно наложить несколько миниатюрных электродов, позволяющих улавливать малейшую электрическую активность мышц лица. Изменяя мимику, летчик может дать машине необходимую в данный момент "команду" в виде биоэлектрического сигнала. Последний, после предварительного усиления, изменит с помощью соответствующего электромеханического устройства положение управляющих ручек и кнопок. Контроль за биотоками своих мышц летчик будет осуществлять визуально, по показаниям приборов. Ведь все они служат органами обратной связи, помогающими летчику

"чувствовать" машину, ее состояние и то, как она выполняет его приказы.

Разумеется, для создания систем, позволяющих с помощью биотоков лицевых мышц быстро, легко и надежно управлять автомобилем или самолетом, потребуется затратить еще немало времени и труда. Новая система инженера Водовника, например, пока еще далека от совершенства и требует ряда доработок. В частности, выбранные изобретателем мышцы бровей могут производить движения, не зависящие от воли человека, что, конечно, значительно усложняет дело. Кроме того, сложно отрегулировать силу нажатия на тормозную педаль в зависимости от состояния дороги (сухая или мокрая, ровная или ухабистая). Но все эти трудности, в конце концов, преодолимы.

После того, как будут созданы новые системы биоуправления автомобилями и самолетами, шоферы и летчики должны будут пройти специальную тренировку, которая будет заключаться в приобретении навыков почти автоматически посылать определенными движениями мышц лица нужный биоэлектрический сигнал-команду определенному агрегату или механизму автомашины или самолета. Но это не так уж сложно, если учесть уже накопившийся опыт обучения человека управлению биоманипуляторами. Ведь в принципе это одно и то же.

В системе "человек — космический корабль" к космонавту предъявляются более, серьезные требования, чем в системах "шофер — автомобиль", "летчик — самолет". Дело в том, что при "объединении" человека и космического корабля в единую систему иногда могут возникать ситуации, когда руки и ноги космонавта заняты или по каким-либо другим причинам не могут управлять тем или иным исполнительным органом. В некоторых случаях задача управления космическим кораблем вообще может превзойти способности человека. Поскольку психофизиологические возможности человека ограничены и в отдельных случаях это может послужить причиной нарушения нормального и точного функционирования системы "космонавт — корабль", естественно, необходимы поиски принципиально новых методов и средств управления космическим кораблем. Очевидно, при решении этой актуальнейшей проблемы неоценимую услугу могла бы оказать новая оптимальная система биоэлектрического управления, т. е. такая система, которая предъявляла бы минимальные требования к космонавту и одновременно позволяла бы наиболее эффективно воздействовать на корабль.

Но для превращения космонавта в "оптимального" оператора, т. е. для значительного расширения его возможностей как звена

системы управления, необходимо преодолеть ряд трудностей. Одним из важнейших факторов, ограничивающих возможность создания оптимальной системы управления космическим кораблем, опять-таки является промежуток времени между поступлением информационных импульсов в головной мозг, их трансформацией в командные сигналы и поступлением в исполнительные органы — конечности — для выполнения необходимых движений. А нельзя ли добиться того, чтобы этот фактор не оказывал существенного влияния на выполнение космонавтом действий, связанных с управлением кораблем? Оказывается можно, если установить прямую связь между глазом, вернее, мышцей глазного яблока человека и системой управления. Работы в этом направлении уже ведутся. Изучаются возможности создания прибора, который мог бы преобразовывать движения глазного яблока в импульсы, командующие системой управления космическим кораблем.

Поворот глазного яблока можно измерить электро-окулографическим способом. На выходе при этом мы получаем электрический сигнал. По данным А. Лаурингсона, повороту глаза — на 1° соответствует изменение электрических потенциалов глазодвигательных мышц, варьирующее от 10 до 40 мкв. Линейная зависимость между углом поворота и амплитудой снимаемых биопотенциалов сохраняется при углах поворота, не превышающих 30°. Таким образом, глазодвигательные мышцы обладают очень удобной для управления характеристикой: их электрическая активность прямо пропорциональна углу поворота. Возникающие при повороте глазного яблока биопотенциалы можно усилить и передать на соответствующие сервомеханизмы.

В будущем цепь "глазного" биоэлектрического управления будет выглядеть так: глаз → нервный канал → мозг → нервный канал → глазодвигательные мышцы → исполнительный орган → объект. Такая система имеет ряд существенных преимуществ перед ручной системой управления. Во-первых, в ней не будет такого малонадежного и инерционного звена, как конечность. Во-вторых, два других звена (нервный канал, идущий от мозга к мышце конечности, и сама мышца конечности) будут заменены иными. Следовательно, "глазная" биоэлектрическая система будет малоинерционной, сможет работать при более высоких частотах, а главное — здесь фактор времени не будет оказывать существенного влияния на выполнение космонавтом действий, связанных с управлением кораблем. Короче, создание такой системы во многом упростит и облегчит управление аэрокосмическими объектами.

Среди ведущихся в настоящее время разработок систем

управления с помощью биотоков мышц следует отметить новое направление, в котором исследуется возможность использования чувствительных нервных окончаний, расположенных на поверхности тела человека, и нетипичных мышечных реакций в качестве элементов управляющей системы. Так, например, если космонавт под воздействием больших перегрузок, из-за усталости или ранения окажется не в состоянии пользоваться руками или ногами и совершать нормальные движения для управления кораблем или если он почему-либо потеряет способность наблюдать за курсом, информация об ориентации может быть подведена к нему через чувствительные к давлению нервные окончания, которые имеются на поверхности тела. Хотя разрешающая способность этих нервных окончаний значительно меньше, чем у других органов чувств (таких, как глаза и уши), их тем не менее можно натренировать так, чтобы они реагировали характерным образом на подводимую информацию. Тогда диффузная чувствительность нервных окончаний на поверхности грудной клетки может позволить космонавту маневрировать, например, напрягая мышцы плеча, что вполне достаточно для управления и пилотирования. Напрягаемые мышцы будут генерировать биопотенциалы, которые легко обнаруживаются с помощью электродов, размещенных на коже; эти потенциалы можно преобразовать для использования в системах управления.

А нельзя ли командовать машиной, техническим устройством, не двигая рукой, не напрягая мышц, не произнося ни слова?

Вот недавние опыты. Человеку, на голову которого надет прибор, отводящий биотоки мозга, предлагают совершить какое-то сложное действие. Допустим, сидящий у пульта самолета летчик должен включить одновременно пятнадцать приборов. Он должен сделать это через минуту. И мозг человека сосредоточивается на поставленной задаче. Его энцефалограмма показала бы сейчас возбуждение большее, чем при самом действии, — это волны ожидания, волны намерения. Но энцефалограмма не снимается, биотоки отведены не на энцефалограф, а к приборам, которые должны быть включены. И они включаются. Их включают биотоки мозга!

Итак, биоэлектрический метод открывает принципиальную возможность прямой передачи командных сигналов от человека к техническим системам, т. е. непосредственно от центральной нервной системы к органам управления, точно так же, как происходит управление движением конечностей. Человеку отныне не обязательны движения, чтобы властвовать над машиной, ему нужно только сосредоточиться, только пожелать, и

узлы неодушевленной материи как бы в гипнотическом трансе уступят его немому и невысказанному желанию.

— Передача машине сигналов, мысленных распоряжений — вот что ускорит весь производственный процесс, — говорит академик И. И. Артоболевский.

Об этом же писал основоположник кибернетики Норберт Винер в своем последнем труде "Бог и Голем". Размышляя о перспективах советских работ по биоэлектрическому управлению, Н. Винер, заглядывая в недалекое будущее, говорил о возможности найти совершенно новый, непосредственный контакт человека с машиной, о создании систем, где невиданные механические конструкции будут подчиняться мозгу, как мышцы живой руки. И то, что сегодня уже создано учеными, позволяет считать такие прогнозы вполне реальными. Вспомните "секрет" управления моделью электропоезда. Стоит человеку лишь подумать о том, чтобы поезд двинулся с места, и он послушно пускается в путь. А когда в мыслях ему приказывают: "Стоп!", поезд останавливается.

Пока модель кольцевой электрической железной дороги с автоматически управляемым локомотивчиком — это только занятная игрушка. Но так же, как ребенок с годами растет, набирает силы и мужает, так и модель электропоезда со временем повзрослеет, усовершенствуется. И когда инженеры и бионики выдадут ей аттестат зрелости, новая система воздействия человека на механизмы намного облегчит управление сложными машинами: тракторами, прокатными станами, эскаваторами, станками, кранами и т. п. Между ними и человеком установится непосредственная "живая" связь. Образно говоря, технические системы будут управляться "невысказанными желаниями" человека. Уже сегодня в ряде специальных журналов можно найти немало статей инженеров, бионików, электрофизиологов, занимающихся разработкой новых биоэлектрических систем, в которых говорится о сверхскоростных самолетах, выполняющих в воздухе на различных высотах сложнейшие эволюции, повинуясь мысленному приказу летчика. В пилотской кабине такого самолета просторно. Здесь нет привычных нам штурвалов, многочисленных рычагов, ручек и кнопок. Летчик сидит в кресле свободно, его мышцы не напряжены. Здесь работает мысль — командир и повелитель воздушного корабля.

Некоторые ученые идут дальше, они считают, что летчику не обязательно нужно будет находиться в кабине самолета, он может оставаться на земле, используя для биоуправления воздушным кораблем радио и телевизионную связь.

Все это, конечно, не так просто, как может показаться на первый взгляд. Все это пока в будущем. Но первые шаги на пути к этому чудесному будущему уже делаются.

> "Сегодня мы уже вполне конкретно ставим вопросы — заявил еще в 1959 г. академик А. А. Благонравов, выступая на VIII Всемирном фестивале молодежи в Вене, — о создании такого робота, который фактически будет вашим двойником и по вашему желанию будет собирать для вас минералы на Марсе или, скажем, поздравлять с победой нового спортивного чемпиона в Рио-де-Жанейро, в то время как вы сами находитесь в
>
> Москве. Причем речь идет не о создании просто механического робота, способного выполнять заданную ему программу. Речь идет о создании такого робота, который будет повиноваться вашей мысли. Это не мистика, не фантастика!"

А теперь вернемся к тому, с чего мы начали, — к использованию биоуправления в медицине. Чудесная биорука, созданная в нашей стране, является далеко не единственным практическим воплощением изобретательской мысли советских ученых в использовании биопотенциалов живого организма. За 11 лет, прошедших после первой демонстрации биоэлектрической руки на Брюссельской всемирной выставке летом 1957 г., наши ученые достигли значительных успехов в применении биотоков для управления диагностической, лечебной и вспомогательной медицинской аппаратурой. Так, например, бывает необходимо сделать рентгеновский снимок сердца в строго определенный момент, в момент сокращения его желудочка или предсердия или в момент расслабления сердечной мышцы. Каждая стадия в работе сердца длится малые доли секунды, и даже если врач даст рентгенотехнику команду: "Снимай!", тот не успеет ее выполнить в срок. Вот тут-то советские ученые и решили привлечь в помощь рентгенологам биотоки сердца самого пациента.

Уловленные обычным способом — с помощью электродов, приложенных к груди и рукам больного, — биопотенциалы сердца усиливаются и подаются в радиоэлектронное устройство, настроенное так, что оно реагирует только на какой-нибудь один зубец электрокардиограммы, т. е. на определенную величину потенциала. Получив нужный сигнал, устройство включает рентгеновский аппарат. В результате сердце как бы само себя снимает, и именно в тот момент, когда это необходимо врачу для получения точных данных о динамике сердца больного. Теперь уже не врач и не техник, а биоэлектрические сигналы сердца

пациента управляют рентгеновским аппаратом. Таким образом, электрокардиосинхронизатор, разработанный под руководством профессора В. С. Гурфинкеля, заведующего лабораторией физиологии Института экспериментальной биологии и медицины Сибирского отделения АН СССР, позволил осуществить давнюю мечту врачей, получать рентгеновские снимки сердца в заранее определенной фазе цикла сокращения.

Управление биотоками используется ныне и в аппаратах искусственного дыхания и кровообращения, что дает возможность "подстраивать" эти аппараты под собственные ритмы организма. Один из таких аппаратов — перфузионный электромагнитный насос с биоэлектрическим управлением — "Биопульс". Это искусственное сердце предназначено для синхронного нагнетания крови в артерии. "Биопульс" помогает разгрузить сердце больного во время операции или при лечении острой сердечной недостаточности и других заболеваний. Важная особенность аппарата заключается в том, что, получив слабые электрические импульсы, он после усиления последних приводит ими в действие собственно насос. Такой принцип позволяет путем простейших регулировок в цепи формирования исходных импульсов менять в широких пределах характер нагнетания крови — частоту, длительность, силу и фазу пульсовой волны. Кроме того, "Биопульс" можно синхронизировать самим сердцем больного. Для синхронизации используются электрические потенциалы, возникающие при работе сердца и называемые R-зубцами. Если же биопотенциалы сердца исчезают или становятся слишком слабыми, насос начинает работать на собственной частоте.

У современной медицины есть немало своих "космических" проблем, решение которых кажется фантастическим. Хорошо известно, например, какое страшное зло представляют для человечества многочисленные сердечные недуги: инфаркт миокарда, тяжелые ревматические пороки и другие. Несмотря на то, что арсенал современных терапевтических и хирургических методов лечения болезней сердца достаточно обширен, все же рассчитывать на успех можно далеко не всегда. Поэтому усилия многих ученых ряда стран сейчас направлены на создание искусственного сердца, которое являлось бы частью живого организма и позволяло бы больному вести почти нормальный образ жизни.

Как же практически думают справиться с этой проблемой медики, бионики и инженеры?

Для создания искусственного сердца необходимо решить три основные задачи. Прежде всего, нужно подобрать

соответствующее вещество для изготовления протеза. Здесь ученые единодушно отдают предпочтение каучуку, содержащему примесь силикона (органического вещества — несмачиваемого кремния). Отдельные детали из силиконовой резины уже прошли проверку временем в конструкциях искусственных клапанов сердца. В ближайшее время химики обещают сделать такую резину достаточно прочной. Одновременно специалисты работают над созданием составов, которые, покрывая внутреннюю поверхность клапанов и камеры искусственного желудочка, исключат возможность образования тромбов. Вынашиваются и другие идеи, например, покрыть поверхность резины тонкой ворсистой (типа велюра) металлической пленкой, способной удерживать электростатический заряд.

Вторая задача — подобрать источник энергии, который бы надежно поддерживал "биение" искусственного сердца. Сейчас испытывается следующая схема: искусственное сердце связано с источником питания, находящимся вне организма, — пневмоприводом. Такое устройство было разработано и испытано 6 лет назад в США известным ученым доктором Колфом, создателем первой искусственной почки. Эту же идею реализовали в своих конструкциях и другие американские специалисты — Дебеки, Зайдель и Кантровиц. Важнейшим преимуществом пневмопривода является возможность использования очень тонких шлангов для связи искусственного сердца с наружным источником его питания. Другой вариант конструкции "сердечного привода" предусматривает использование миниатюрных электрических двигателей. Эти двигатели должны посредством системы механических преобразователей вызывать сокращение желудочков искусственного сердца. Однако осуществление такой конструкции сопряжено с известными трудностями.

Во-первых, очень немногие современные миниатюрные электромоторы способны длительное время работать без ремонта, во-вторых, не ясно, как отводить из организма человека тепло, которое неизбежно будет выделяться при работе такой системы. Ну и, конечно, поскольку питание поступает по электрическому кабелю, вся конструкция не обещает быть удобной в пользовании.

Разумеется, гораздо лучше было бы питать искусственное сердце от каких-то источников, которые можно было бы поместить внутрь организма, например от миниатюрных электрических батарей. "Теоретически, — пишет профессор Ф. Баллюзек, — такая возможность не исключена. Ведь в области создания миниатюрных, но достаточно емких аккумуляторов достигнуты большие успехи. Кроме того, для подзарядки таких

аккумуляторов можно использовать различные источники. Наконец, можно думать и о создании специальной "внутренней электростанции". Сейчас уже сделаны попытки превратить в "электростанцию" какую-то одну мышцу, которая будет возбуждаться с помощью специального запрограммированного устройства. В этом плане любопытные результаты получены американским ученым доктором Кюсероу. Он доказал, что подобный мышечный привод может работать несколько суток. Для питания специальных термобатарей (они тоже могут служить источниками питания) предложено также использовать разницу температур между окружающей средой и поверхностью человеческого тела.

Эти очень интересные исследования ведутся во многих учреждениях.

Изыскиваются и другие устройства, способные обеспечить ритмические сокращения искусственного сердца, которые находились бы внутри грудной клетки или хотя бы в пределах тела человека. Так, во многих лабораториях мира ныне ведутся довольно успешные работы по созданию из полимерных материалов искусственной мышечной ткани, обладающей способностью сокращаться. Конечно, такая ткань была бы идеальным материалом для изготовления искусственных сердец, однако, по-видимому, это дело далекого будущего; во всяком случае рассчитывать на то, что в ближайшее время можно будет делать "сердца" из полимерных мышц, не приходится.

Наконец, третья чрезвычайно важная задача, которую предстоит решить ученым, — найти способ управления искусственным сердцем. Иными словами, речь идет о приведении режима работы искусственного сердца в соответствие с потребностями всего организма человека.

Если сердце целиком искусственное, наладить нужный ритм его работы — дело довольно сложное. "В этом случае, очевидно, — пишет профессор Ф. Баллюзек, — не обойтись без портативных датчиков, распололсеиных внутри организма".

Но, как показывает медицинская практика, большинство патологических процессов поражает сердце неравномерно: чаще страдает левый желудочек, реже правый, и лишь иногда речь идет о несостоятельности всей сердечной мышцы. Следовательно, далеко не всегда возникает нужда в замене протезом всего сердца, во многих случаях можно ограничиться лишь одним дополнительным желудочком, способным взять на себя часть приходящейся на пораженный желудочек нагрузки. При протезировании только одной половины сердца значительно облегчается задача наладки режима его работы. В этом случае в

качестве управляющего устройства можно использовать оставшуюся здоровую часть сердца. Собственные биотоки сердца позволяют достигнуть полной синхронизации работы обеих его частей — естественной и искусственной. Для этого лишь нужно оснастить обычный электрокардиограф, включенный, так сказать, наоборот, специальным узлом — синхронизатором, который позволял бы в нужный момент включать электрическое реле и вызывать сокращение (систолу) искусственного желудочка. Такая задача сейчас вполне разрешима. Советские инженеры создали для этой цели хороший прибор — кардиомонитор.

На пути создания искусственного сердца ученым предстоит преодолеть еще очень много трудностей. Однако никто из специалистов, занятых решением этой проблемы, не сомневается в том, что с дальнейшим развитием радиоэлектроники, бионики, химии и кибернетики искусственное сердце станет достоянием практической медицины.

Наблюдая за реакциями человека, используя точнейшую электронную аппаратуру и методы современной электрофизиологии, ученым удалось показать, что из десятков тысяч сигналов, генерируемых центральной нервной системой, можно выделить те, которые несут полезную информацию о специфических движениях. При сравнении у разных людей осциллограмм сигналов управления — биотоков, сформировавшихся в центральной нервной системе, было установлено, что они схожи между собой, если выполняемые действия одинаковы. Вполне естественно, что это навело ученых на мысль о биоэлектростимуляции, о возможности перенесения биотоков с одной, здоровой части организма на другую, больную, у которой, например, нарушена связь с центральной нервной системой. Ведь научиться управлять движениями парализованных рук и ног — давнишняя, заветная мечта врачей!

Биоэлектростимуляция открывает широкие возможности для лечения параличей, в частности параличей, возникающих вследствие поражения двигательных центров коры головного мозга. Разумеется, при "старом" параличе биостимуляция бессильна, поскольку мы не научились пока еще возвращать к жизни атрофированные мышцы. Биоэлектростимуляция может эффективно помочь восстановить функцию управления мышцами рук или ног лишь в том случае, если болезнь захвачена в самом начале и если нарушение в работе управляющего "механизма" нашего тела поддается исправлению.

А нельзя ли биотоки, генерируемые здоровым организмом, каким-либо образом "законсервировать" с тем, чтобы в любое время в отсутствие "донора" использовать их в больном

организме? Вероятно, это можно сделать. Так как команды, которые мозг отдает мышцам, посылаются по нервным волокнам в виде серии электрических импульсов и каждому движению мышц соответствует определенный характер сигнала, то последний можно не только усилить, но и записать, скажем, на магнитную ленту. "Проигрывая" потом эту запись соответствующим мышцам больного, быть может, удастся заставить их работать, хотя никаких команд от мозга они не получают. Таким образом, посредством биоэлектростимуляции можно, как показывают опыты, весьма эффективно воздействовать не только на парализованные конечности, но и на внутренние органы человека и животных.

Возьмем для примера легкие. Известно, что процессом дыхания управляет дыхательный центр, расположенный в ромбовидной ямке продолговатого мозга, в области так называемой ретикулярной формации. От рецепторов легких в дыхательный центр поступают по нервным волокнам импульсы, которые затем направляются к дыхательной мускулатуре, вызывая ее сокращения. И вот доктор Витольд Карчевский из Варшавы перерезал эти волокна у кролика, но кролик не погиб. Жизнь кролику сохранили чужие биотоки — ученый передавал подопытному животному записанные на пленку и усиленные импульсы от рецепторов легких другого кролика.

У персонала родильных домов можно услышать фразу: "Рожает, как крольчиха". Это выражение является синонимом не только плодовитости, но и легкости родов. В действительности же крольчихам роды даются не так легко, как нам кажется. Они рожают в муках, как и все теплокровные животные. Особенно трудно им, когда у больной крольчихи слабы родовые схватки. И беда здесь не в слабости мышц матки, а в том, что очень слабы биоимпульсы, генерируемые центральной нервной системой и передающие матке команды. В этом легко убедиться, если наложить на матку электроды и записать ее импульсы на электронном самописце. Последний начертит на бумажной ленте кривую со слабыми редкими импульсами, не идущими ни в какое сравнение с биотоками здоровой самки.

А что если активную матку здоровом крольчихи соединить со слабой проводами, как генератор соединяют с двигателем? Вероятно, мощные, отчетливые биоимпульсы здоровой самки будут активизировать сокращение мышц ее слабой сестры. Но для этого, скажет читатель, надо заставить здоровую и больную крольчих рожать одновременно. Нет, оказывается этого не требуется. Инженеры решили сконструировать усилитель биотоков матки и записать биоимпульсы нормальных родов на

магнитофонную ленту. Получилась запись, которую В. Орлов удачно назвал "электронной программой родов". Затем мышцу матки больной самки-роженицы подключили к магнитофону, и ее мышцы стали столь же активно сокращаться, как и у здоровой. Так легко, с помощью биотоков, усиленных электронной "повивальной бабкой", вероятно, не рожала еще ни одна крольчиха в мире!

Результаты описанных выше и ряда других аналогичных опытов позволяют надеяться, что биоэлектрическая стимуляция в недалеком будущем станет самым действенным средством борьбы с шоком, клинической смертью, утомляемостью и т. п. Имеются также основания предполагать, что в дальнейшем с помощью специальной электронной аппаратуры удастся открыть и глубоко изучить неизвестные нам процессы в организме человека, которые можно будет использовать для диагностики и предупреждения ряда заболеваний.

Ведущиеся поиски ученых по практическому использованию биоэлектрических явлений в медицине сулят большие возможности для врачевания. По мнению действительного члена Академии медицинских наук СССР А. В. Лебединского, "в дальнейшем речь может идти даже о продуманном влиянии на физиологические процессы, ведающие нашей духовной жизнью". Некоторые ученые считают, что между 2000 и 2020 г. новая электронная техника позволит установить контроль над процессами старения, а биоэлектростимуляция в комплексе с другими лечебными методами и средствами даст возможность продлить человеческую жизнь по меньшей мере на 50 лет!

По мнению бионików, настанет день, когда человек сможет широко использовать многих животных в качестве "живых электростанций". Известно, например, что морской угорь генерирует электрический ток, напряжение которого достигает 650 в. Как только угорь обнаруживает добычу, он посылает в нужном направлении серию электрических импульсов, убивающих или оглушающих намеченную жертву. Ученые надеятся, что по "принципу угря" будет создана оригинальная батарея, которая сможет быстро восстанавливать израсходованную энергию. Выдвигается даже предположение о том, что угрей можно будет использовать как полезный источник энергии в космических полетах и на первых лунных станциях.

Пока, конечно, трудно с уверенностью говорить о том, поможет ли угорь человеку достичь иных миров, но вот ученым, работающим в одной из английских электрокомпаний, недавно удалось использовать электроэнергию крысы. В течение 8 час крыса служила источником питания радиопередатчика, и это не

оказало на нее никакого пагубного действия. На основании этого экспериментаторы пришли к заключению, что биотоками животных удастся пользоваться в течение всей их жизни. В качестве следующего шага ученые намерены поставить опыты по использованию энергии (биотоков) более крупных животных.

Большой интерес ныне проявляют ученые и к электрическим процессам, происходящим в растениях. По-видимому, эти процессы, как и у животных, теснейшим образом связаны с важнейшими динамическими режимами жизнедеятельности, но проявляются несколько слабее и протекают гораздо медленнее. Энергетика растительного мира — живой ключ к кладовым, где хранятся богатства природы. Однако мы пока еще далеки от полного понимания биоэлектрических явлений, интимных процессов, происходящих в растениях. Ученые надеются, что проводимые сейчас исследования электрических процессов, происходящих в растениях, дадут в будущем возможность использовать биоэлектрические методы для управления ростом растений. Представляете, насколько это важно?

Безусловно, для того чтобы осуществились все замыслы и прогнозы ученых по использованию "живого" электричества в растениеводстве, медицине, в различных областях техники, придется еще очень и очень много потрудиться врачам и биофизикам, специалистам по электронике и кибернетике, математикам и бионикам, физиологам и психологам, ботаникам и биохимикам. Впереди их ждет большая научно-исследовательская работа, множество экспериментов на животных и растениях. Но уже сегодня у нас имеются все основания утверждать, что не за горами день, когда биоэлектрическая техника, биоэлектрическое управление прочно войдут в нашу жизнь и дадут нам, возможно, то, о чем мы сейчас даже не смеем мечтать.

Беседа четвертая. Оракулы природы

Вопрос о предсказании погоды почти так же стар, как и само человечество. Потребность в какой-то мере предвидеть погоду появилась у человека с переходом его к оседлой жизни, к занятию земледелием и скотоводством. Засухи и наводнения, опустошительные бури и морские штормы приносили немалые беды человечеству. Нужно было научиться вовремя узнавать о ненастье и предвидеть погоду, благоприятствующую работе.

В результате длительных наблюдений люди установили еще задолго до нашей эры ряд эмпирических связей качественного характера между отдельными атмосферными явлениями. Появилось много примет о погоде, вылившихся в форму кратких правил, нередко для лучшего запоминания рифмованных. Так, на одной из глиняных дощечек, дошедших до нас из Вавилонии, можно прочесть: "Когда солнце окружено кругом, то выпадет дождь". У греков были даже особые календари, высеченные на каменных дощечках, указывающие средний характер погоды для каждого дня года. Появились они, вероятно, 25 веков назад в результате многолетних наблюдений отдельных ученых. Эти календари-отметчики (так называемые парапегмы) прикреплялись к колоннам на рынках, площадях и в других общественных местах приморских городов. Парапегмы пользовались большим доверием мореплавателей и сельских жителей, в соответствии с ними люди выходили на рыбную ловлю, шли на охоту, торговые суда отправлялись в дальнее плаванье, производились сельскохозяйственные работы.

Теперь о парапетах мало кто знает, они давным-давно стали достоянием музеев. Забылись многие накопленные народами в течение веков приметы погоды, основанные на наблюдениях природы. Прогнозирование погоды ныне ведется на прочной научной основе. О том, что приготовила нам природа на завтра и ближайшие дни, мы обычно узнаем вечером, сидя у радиоприемника или телевизора, когда диктор объявляет: "Передаем сводку погоды..." А тот, кому не довелось по каким-то причинам прослушать это сообщение, находит его утром в газетах перед уходом на работу.

Пожалуй, нет сейчас человека, которого не интересовало бы состояние погоды. "Потребителями" прогнозов погоды в наше время являются сотни миллионов людей самых различных профессий и специальностей: полеводы, садоводы, пчеловоды, агрономы, овощеводы, геологи, летчики, космонавты, моряки, лесозаготовители, строители, спортсмены, тысячи и тысячи

любителей туризма, охоты и рыбной ловли. Прогнозы погоды прочно вошли в жизнь каждого горожанина, каждого сельского жителя. Мы привыкли и любим жить "по науке".

Однако не будем греха таить, бывает и так. Вы собрались в воскресенье отдохнуть на лоне природы. Вечером в субботу диктор сообщает, что завтра ожидается теплая погода, правда, с ветром, но без осадков. А на самом деле прогноз оказывается абсолютно неверным. Английский метеоролог Рубин даже подсчитал, что из 445 прогнозов погоды, сделанных в течение б месяцев, лишь 127 оказались правильными. Один из американских журналов совсем недавно опубликовал на своих страницах следующее интервью с жительницей Сан-Франциско Бетти Грэхем. На вопрос репортера, что она больше всего любит в американском телевидении, Бетти Грэхем ответила: "Сводку погоды. Я держу с мужем пари на доллар, совпадет ли погода с прогнозами. Я всегда сомневаюсь и поэтому за последний месяц выиграла у мужа 27 долларов". И все же, как ни грустны данные Рубина и как ни удачлив "бизнес" Бетти Грэхем, подавляющая часть населения земного шара продолжает верить синоптикам, так как знает, что за последние 25 — 30 лет они многое сделали и продолжают делать для повышения точности прогнозирования погоды.

Вероятность правильного прогнозирования значительно, увеличилась за последние годы вследствие расширения наблюдательной сети, применения более совершенных современных приборов и аппаратов и, главное, за счет более глубокого использования количественных законов физики и механики при учете движения воздушных масс. Это последнее направление стало по-настоящему возможным только недавно, после появления электронных счетных машин. И дело тут не только в создании новой техники: некоторые элементы, влияющие на погоду, например распределение атмосферного давления и воздушных потоков, предсказывают ныне новыми методами значительно быстрее и точнее, чем это делалось ранее самыми опытными специалистами-практиками. Новую страницу в прогнозировании погоды открыли искусственные спутники Земли. Впервые в истории ученые получили возможность наблюдать за метеорологическими процессами во всем мире. Прежде всего это относится к изучению облаков. До сих пор метеорологи смотрели на них снизу. Теперь они могут наблюдать и фотографировать их сверху, из космоса. В этом случае оказывается возможным получить, более целостную картину распределения облачности над огромными территориями земной поверхности. А, как известно, характер и распределение

облачности многое говорят метеорологам о движении воздушных масс, об образовании циклонов, антициклонов, штормов, а также о других атмосферных явлениях. Так, например, в зарубежной печати было опубликовано сообщение, что по фотоснимкам облаков, переданным со спутника, удалось обнаружить сильный ураган в Тихом океане за два дня до того, как синоптики "нашли" его по данным наземных наблюдений.

Почему же все-таки, несмотря на достигнутые в последнее время метеорологической наукой успехи, прогнозы погоды иногда оказываются неточными? Одним из главных источников ошибок в данном случае служит отсутствие полных метеорологических наблюдений во всей толще атмосферы и в труднодоступных районах. Вторая группа ошибок в предсказаниях возникает вследствие недостаточности наших знаний о причинах и последовательности ряда атмосферных явлений, неуловимости некоторых факторов, способных повлиять на погоду, причудливо изменяющих ее. Можно привести такой пример. Между двумя станциями наблюдения возник маленький вихрь, и он не был обнаружен. Да и сам по себе он не влиял на погоду в данный момент. Однако в дальнейшем, при развитии процесса, он стал той "затравкой", на которой возникло крупномасштабное возмущение, изменившее погоду. И хотя такого рода ситуации нельзя считать правилом (скорее они являются исключением), но именно они и приводят к ошибкам в прогнозах. И еще одно обстоятельство. Некоторая часть ошибок в предсказаниях неизбежно связана с самим методом составления прогнозов погоды. Дело в том, что современный метод предсказания погоды по синоптическим картам неточен по самой своей природе, хотя основы его вполне научны. Его трудно сравнить, например, с чрезвычайно точным методом астрономических предсказаний. Астрономы задолго и с любой точностью скажут вам, когда будет затмение Солнца или Луны, каково будет положение других планет. Эти предсказания делаются на основе сложных математических расчетов, и ошибки здесь сведены до минимума. Совсем иными методами предсказывают погоду синоптики: их выводы основаны почти исключительно на качественной оценке явлений и процессов. Синоптики анализируют карту, определяют положение циклонов, антициклонов и фронтов, устанавливают приблизительно скорость их перемещения и в значительной степени субъективно решают, как будет изменяться в дальнейшем направление их движения, будет ли оно замедляться или ускоряться. Вполне естественно, что при таком методе, даже зная причины явлений и располагая множеством данных об элементах погоды, синоптики

не могут предсказать погоду абсолютно точно, а должны ограничиваться лишь примерной оценкой ее в будущем. В конечном счете совокупность всех перечисленных причин приводит к тому, что синоптики невольно, не желая этого, нас подводят. А мы, слепо веря предсказаниям метеорологов, нет-нет, да и мокнем под дождем, таскаем зонт в солнечную, безоблачную погоду, часами, а то и сутками ожидаем в аэропортах летной погоды, испытываем на себе гнев неожиданно разбушевавшейся морской стихии, проклиная при этом свою доверчивость и несовершенство службы прогнозов. Публикуемые в разных странах данные о достигнутой точности в прогнозировании погоды весьма разноречивы. В среднем из 100 прогнозов 15, а то и 20 оказываются неверными, ошибочными. Именно они-то и служат поводом для язвительных насмешек и острот в адрес синоптиков: "Прочитай прогноз и рассчитывай на обратное". Что поделаешь, промокший человек злопамятен!

Однако, как ни сложна проблема точного прогнозирования погоды, мы не вправе сетовать на природу за то, что она столь неохотно раскрывает нам свои метеорологические тайны. Удивительно другое — как это человек, пользуясь с незапамятных времен в своей повседневной жизни созданными природой многочисленными живыми барометрами, термометрами, гигрометрами и другими "приборами", умеющими чутко реагировать на все происходящие в атмосфере изменения, до сих пор не удосужился понять их "конструкцию", принцип действия и не перенес весь этот богатейший арсенал "изобретений" в инструментальную метеорологию.

Пришла пора исправить создавшееся положение, говорят бионики, нужно досконально изучить атмосферные (физические) и биологические процессы на основе данных о взаимодействии живых организмов с окружающей средой и полученные сведения использовать для повышения точности прогнозирования погоды. И вот первый, весьма убедительный по эффективности результат этого нового направления в работе специалистов по бионике.

По данным мировой статистики, ежегодно в морях и океанах погибают тысячи людей. В большинстве своем это жертвы кораблекрушений, вызванных штормами и ураганами. Высота штормовых волн в океанах нередко достигает 4 — 11, а иногда даже 18 м. Скорость распространения штормовых волн доходит до 60 и более километров в час. На каждый погонный метр гребня волна высотой в 5 и длиной в 100 м несет в себе мощность, равную 3120 квт. При таком волнении на площади в 1 км^2 бурного моря в каждую секунду заключена мощность, равная 3 миллиардам киловатт. Этой чудовищной энергии не в силах

противостоять ни один современный корабль, суда-громадины превращаются в груды искореженного металла, выбрасываются на скалы, поднимающиеся на 3 м выше уровня океана. В 1929 г. во время жестокого шторма, бушевавшего в Северной Атлантике и в Северном море, одновременно потерпело аварию более 600 судов, затонуло много кораблей грузоподъемностью от 6 до 11 тысяч тонн. Еще более трагичным был 1964 г. Он побил все прошлые "рекорды" морских катастроф. Превзойден был даже 1929 г., прозванный моряками "фатальным годом". Об этом свидетельствуют многочисленные статьи и заметки, опубликованные в иностранной, преимущественно западной прессе. В 1964 г. только в Атлантическом и Тихом океанах, Средиземном и Северном морях погибло (не считая судов, потерпевших аварию) более 200 судов общим водоизмещением 460 000 т. Добычей Нептуна стали сотни и тысячи людей. В печальном "соревновании" между государствами, флот которых понес наибольшие потери, зарубежные газеты отводят первое место Греции, второе — США. Последующие места в трагической иерархии принадлежат Великобритании, Норвегии, Либерии, Японии, Италии и другим государствам.

Остановить шторм или направить его по другому пути люди еще не умеют. Но обойти шторм стороной или заблаговременно укрыться в ближайшем порту, узнав о его приближении, можно. Но, к сожалению, обычный морской барометр "чувствует" шторм лишь за два часа. Этого, конечно, мало даже для современного быстроходного лайнера. В более выгодном положении находятся многие морские птицы и животные. Они, как это давно заметили рыбаки и жители морских побережий, способны заблаговременно "угадывать" приближение шторма. Так, например, задолго до наступления ненастья, когда барометр стоит еще достаточно высоко и нет никаких внешних признаков, говорящих о скором ухудшении погоды, дельфины заплывают за скалы, киты уходят далеко в открытое море, а мелкие ракообразные, известные под названием "морские блохи", которые в хорошую погоду прыгают по гальке у самого уреза воды, перед приближением шторма выходят на берег; Ухудшение погоды, приближение шторма хорошо чувствуют акулы, чайки, а также пингвины, последние ложатся на снег и вытягивают свои клювы в направлении, в котором должна прийти буря или метель.

Что же это за "шестое чувство"? Какова связь между физическими процессами, происходящими в атмосфере и в толще морских глубин, и физиологическим восприятием живых организмов? Ведь человеку, чтобы предсказать изменение погоды, приближение шторма, надо получить сведения о

метеорологических условиях на обширной территории[4] и по этой информации составить синоптическую карту, без анализа которой метеоролог не может предсказать изменение погоды. Что же служит "синоптической картой" для морских птиц, рыб и других морских организмов? Какие "приборы" и "приспособления" заблаговременно и абсолютно точно предупреждают их о приближении шторма или бури? Какие огромные перспективы повышения точности прогнозирования погоды открылись бы перед метеорологами, если бы бионикам удалось проникнуть в эту тайну!

Из многочисленных животных, обладающих неизвестными нам механизмам для прогнозирования погоды, бионики в качестве первого подопытного объекта избрали... медузу, которая, по многолетним наблюдениям, задолго до приближения шторма спешит укрыться в безопасные места литоральной зоны.

Как же такое простое животное, как медуза, узнает за много часов о приближении шторма? Оказывается, у медузы имеется инфраухо, оно позволяет ей улавливать недоступные слуху человека инфразвуковые колебания (частотой 8 — 13 гц), которые хорошо распространяются в воде и появляются на 10 — 15 час раньше шторма. Инфраухо медузы — это стебелек, оканчивающийся слуховой колбой — шаром с жидкостью, в которой плавают камешки, соприкасающиеся с нервным окончаниями. Первой воспринимает инфразвуковые колебания слуховая колба, наполненная жидкостью, затем эти колебания через камешки в пузырьке передаются нервам. Используя принцип действия "уха" медузы, сотрудники кафедры биофизики Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова создали электронный аппарат — автоматический предсказатель бурь.

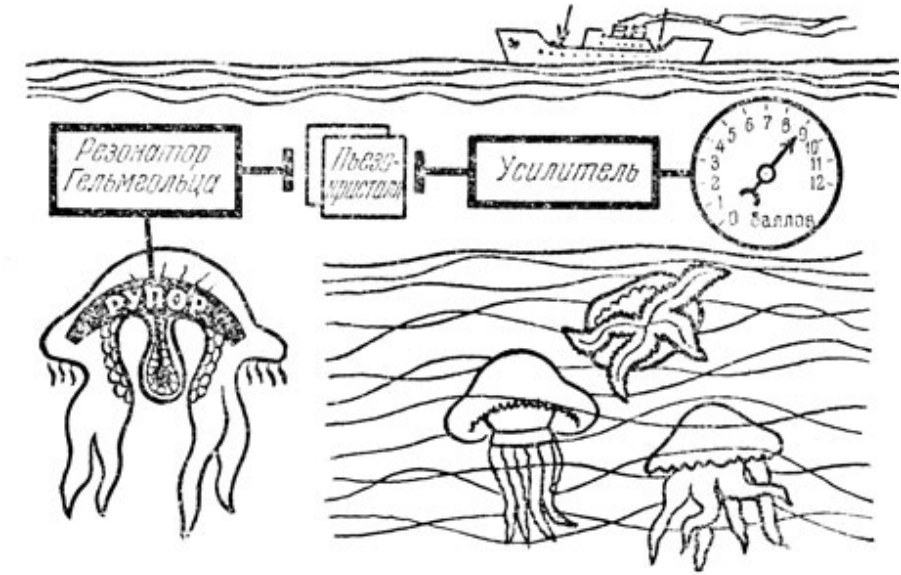


Рис. 1. Блок-схема прибора для предсказания штормов (искусственное 'ухо медузы')

Аппарат, имитирующий орган слуха медузы (рис. 1), состоит из рупора, улавливающего колебания воздуха частотой около 10 гц, резонатора, пропускающего именно эти частоты и отсеивающего случайные, пьезодатчика, превращающего пойманные сигналы в импульсы электрического тока, усилителя и измерительного прибора. Аппарат устанавливается на палубе корабля. Когда он включен, рупор медленно вращается, выискивая вокруг штормовые инфразвуки. При обнаружении их рупором особое устройство, действующее по принципу обратной связи, тотчас же останавливает движение рупора, указывая, откуда надвигается шторм. На капитанском мостике находится измерительный прибор и система указателей, оповещающая о наступлении шторма световым или звуковым сигналом.

Испытания показали, что описанный сигнализатор бурь позволяет определять наступление шторма за 15 час.

Более того, он указывает даже мощность надвигающегося шторма.

Многое сулит инструментальной метеорологии проводимое биониками изучение барометрических устройств, которыми обладают некоторые рыбы. Так, например, отшельник дна на глубине — сом перед грозой и ненастьем обязательно всплывает, пугая верховодок. Рыба голец в ясную погоду лежит на дне аквариума без движения, напоминая экспонат зоологического музея. Но вот голец начинает подавать признаки жизни. Виляя

длинным телом, он снует вдоль стенок аквариума..., а через некоторое время небо затягивается облаками. А когда голец мечется по аквариуму вверх — вниз, вправо — влево и кажется, что целый клубок темных длинных тел заполнил банку, это значит, что скоро в окно забарабанят капли дождя. Такими живыми барометрами пользуются крестьяне в некоторых районах Китая. Надо сказать, что "предсказания" гольца более точны, чем прогнозы синоптиков: он ошибается только в 3 — 4 случаях из 100! Большой восприимчивостью к изменениям барометрического давления отличается и вьюн. Перед ненастьем эта рыба выходит на поверхность воды, она предугадывает изменение погоды за сутки. Наконец, идеальными барометрами служат красивые мелкие рыбки, обитающие в глубинах подводного царства у берегов Японии. Они заранее и совершенно безошибочно реагируют на малейшие изменения погоды, и за их поведением в аквариуме пристально следят капитаны белоснежных океанских лайнеров, отправляющихся в дальние рейсы, рыбаки и сельские жители прибрежных районов Страны Восходящего Солнца, чьи сады и посевы нередко страдают от штормов.

В чем же секрет умения маленьких обитателей аквариумов столь точно прогнозировать погоду? Как установили ученые, он заключается в оригинальном устройстве плавательного пузыря. Обычно этот орган выполняет у рыб функции гидростатического регулятора, помогая им удерживаться на той или иной глубине. У японских же рыбок плавательный пузырь выполняет еще одну исключительно важную функцию: он является высокочувствительным прибором, воспринимающим тончайшие перепады давления, измеряемые миллионными долями исходного. Не говоря уже о том, что эта чувствительность находится на пределе возможностей технических систем, очень ценно и другое — такой живой барометр чрезвычайно чувствителен к медленным колебаниям давления. Именно это и делает японских рыбок непревзойденными синоптиками, верными помощниками человека.

Чутко реагируют на предстоящие изменения погоды черви и медицинские пиявки. В хорошую погоду медицинские пиявки спокойны и, как правило, лежат на дне стеклянной банки или аквариума. Перед дождем пиявки начинают присасываться к стенкам банки и немного высовываться из воды. А перед грозой и сильным ветром они ведут себя крайне неспокойно: быстро плавают, извиваются, пытаются вылезти из воды и присосаться к стенкам сосуда выше уровня воды. Когда дождевые черви выползают на поверхность, это значит, что ясная сухая погода перейдет в неустойчивую с дождями и грозами.

Значительный интерес представляют для бионики раки и лягушки. Они несут "службу погоды" на берегу. Перед дождем раки выползают из воды на берег. Существует целый набор народных примет, связывающих поведение лягушек с переменой погоды. В сухую погоду они остаются в воде, в сырую — выходят на сушу. Лягушки по суше прыгают — к дождю. Лягушки расквакались — к непогоде. Лягушки квакают вечером с приятной трелью — к ясной погоде. Лягушки с вечера долго кричат — к хорошей погоде. Если же лягушки держатся на поверхности воды и квакают, выставляя мордочки наружу, — к ненастью. Лягушки турчат — на дождь, громко кричат — к вёдру, молчат — перед холодной погодой. У лягушки кожа серого цвета — к дождю; если кожа желтая, в ближайшее время установится вёдро. Зашумит река и закричит лягушка — будет дождь.

Чудесными синоптиками являются многие птицы. Постоянно находясь в атмосфере, непосредственно испытывая на себе воздействие всех происходящих в воздушном океане изменений, птицы в 'течение веков приобрели высокую чувствительность к изменению атмосферного давления, к уменьшению освещенности (тонкие прозрачные облака, ослабляющие солнечный свет, — предвестники ненастья), к скоплению в атмосфере электричества перед грозой и т. д. И что особенно важно — птицы реагируют на все метеорологические изменения заранее. Это находит отражение в их пении, криках, поведении и ежегодных сроках прилета. Наверное, каждый из вас слышал зяблика. Залихватским посвистом серебряного голоска только один певец — зяблик мастак поставить восклицательный знак — заключительный аккорд нежно-звучной, красивой и радостной своей песенки: "пиньк... пиньк... фить-фить-фить-фить... ля-ля-ля...". В другой раз услышите — и не узнаете: что случилось с зябликом? Совсем по-другому, без раската, тихо, монотонно цедит он: "рю-пинь-пинь-рю..." Птицеловы говорят: "Зяблик рюмит — к дождю". И это верно. Зяблик не обманывает. Иволга в солнечный день издает округлые звуки "фиу-лиу", напоминающие чистую мелодию флейты; перед ухудшением погоды крик иволги похож на кошачий визг. Жаворонки много и долго поют — сохранится ясная погода без осадков. Регулярное кукование кукушек указывает на установление теплой погоды и прекращение холодных утренников. Истошный крик в ясную погоду домоседов галок и ворон — верный признак дождя летом и осенью и снегопада зимой. Низко реют ласточки — к непогоде, высоко взвиваются — к вёдру. Воробьи собираются стаями на земле, купаются в пыли или в песке — к дождю. На дождь указывают и беспрерывно ныряющие, плещущиеся в воде утки. В пасмурное

или туманное утро ток глухарей начинается и кончается позднее, чем обычно. Если хорошая погода через несколько дней должна смениться ненастной, то глухаря не услышишь. При токовании глухарей в ненастное утро можно быть уверенным в улучшении погоды. Белая трясогузка — признанный предвестник ледохода — всегда прилетает в канун вскрытия рек. Появление же стаек белых трясогузок в сухую осень предвещает наступление ненастной и дождливой погоды. Ранний отлет соек, синиц, сорок, ронж, свиристелей и других птиц в предосеннее время, как правило, предшествует похолоданию и изменению погоды.

Остро чувствуют атмосферные изменения и насекомые. "Паук, — писал Л. Н. Толстой, — делает паутину по погоде, какая есть и какая будет. Глядя на паутину, можно узнать, какая будет погода; если паук сидит, забившись в средине паутины, и не выходит — это к дождю. Если он выходит из гнезда и делает новые паутины, то это к погоде.

Как может паук знать вперед, какая будет погода? Чувства у паука так тонки, что когда в воздухе начинает только собираться сырость, и мы этой сырости не слышим, и для нас погода еще ясная, — для паука уже идет дождь".

О приближении дождя заблаговременно сигнализируют человеку муравьи и пчелы. Первые старательно закрывают входы в муравейник, вторые сидят в ульях и гудят. Мухи и осы перед ненастьем стремятся залететь в помещения или в кабины автомобилей. Хорошо "предчувствуют" грозу бабочки-крапивницы. Если в ясную погоду они ищут укрытия в защищенных от ветра местах, в пучках сухих веток, дуплах деревьев, то это значит, что через несколько часов можно ожидать грозы. Зато, если поздно вечером сильно трещат кузнечики, наутро наступит хороший день. Вьющиеся в воздухе столбом комары и мошки обычно тоже предвещают хорошую, ясную погоду. Некоторые насекомые позволяют нам предугадывать погоду и на более длительный срок. Чем выше к осени муравьиные кучи, тем суровее будет зима. На холодную зиму пчелы залепляют леток, оставляя в нем еле заметное отверстие, а к теплой зиме он остается открытым.

Недавно два голландских зоолога, работающих в Лейденском университете, произвели исследование органов чувств мокрицы, которой, как известно, жизненно необходима высокая влажность окружающей ее среды. В результате этих исследований было установлено, что на теле каждой мокрицы имеется около сотни чувствительных "гигрометров", тонко реагирующих на изменения влажности атмосферы. Эти органы "чувства влажности" у мокрицы устроены весьма оригинально: они представляют собой

крошечные бугорки, покрытые тонкой кожицей, к которой изнутри близко подходят группы нервных окончаний. Кожица, покрывающая "гигрометры", достаточно надежно защищает их от воды и в то же время обеспечивает доступ воздуха к нервным окончаниям. Аналогичные органы чувств, регистрирующие изменение атмосферной влажности, обнаружены учеными и у некоторых видов жуков.

Рассказывают, что однажды в ясный, солнечный день Исаак Ньютон вышел на прогулку и встретил пастуха. Пастух посоветовал ученому вернуться домой, если он не желает попасть под дождь. Ньютон не послушался. Но уже через полчаса он промок, как говорят, до нитки. Удивленный столь верным предсказанием, Ньютон пожелал выяснить, на основании каких данных пастух узнал о предстоящем ливне. Тот ответил, что ему помог... баран, по шерсти которого он определил приближение дождя...

Мы привели этот случай для того, чтобы далее на ряде других примеров показать небезынтересные, имеющие, как нам думается, научно-познавательное значение приметы, сигнализирующие человеку о возможных изменениях погоды. Эти народные приметы, собранные в течение многих веков путем повседневных наблюдений за поведением домашних животных, гласят:

Скот ложится под кровлю — к ненастью, а на двор — к вёдру.

Осел ревет — к ветру.

Овцы стукаются лбами — к сильному ветру.

Свинья чешется — к теплу, визжит — к ненастью, солому таскает — к буре.

Лошадь храпит — к ненастью, трясет головой и закидывает ее кверху — к ненастью.

Собака валяется — к ненастью, траву ест — к дождю, мало ест и много спит — к дождю.

Кошка моется, лижет лапу — к вёдру, морду хоронит — к морозу либо к ненастью, в печурку садится — к морозу, скребет пол — к ветру и метели, стену дерет — к непогоде, крепко спит — к теплу, лежит брюхом вверх — к теплу.

Гусь прячет под крыло нос — к холоду. Гуси хлопают крыльями — к холоду, полощутся — к теплу. Гусь и утка ныряют — на дождь. Утки кричат и плещутся — на дождь.

Куры кудахчут — к ненастью. Наседка сажает

цыплят под себя — к ненастью. Если куры не прячутся от дождя, то он будет непродолжителен.

А способен ли наш организм воспринимать биометеорологическую информацию? Еще в глубокой древности люди заметили связь между заболеваниями и погодой. Народы, населявшие Элладу, Египет и Рим, поклонялись лучезарному богу Солнца, полагая, что он посылает человеку исцеление.

Теперь мы знаем, что в силу экологических особенностей здоровый человек в меньшей мере, нежели животные, реагирует на ближайшие изменения погоды. Но отдельные особи, чаще всего так называемые "метеотропные больные", очень подвержены влиянию метеорологических факторов. Их организм плохо приспосабливается к колебаниям атмосферного давления, влажности воздуха, температуры. Хорошо известны, например, боли в суставах у людей, страдающих ревматизмом, накануне изменения погоды. Некоторые ревматики даже чувствуют "голос моря". А чем объяснить, что в иные дни количество сердечных приступов резко увеличивается? На этот вопрос ответили сотрудники Сектора географической медицины Института географии Сибири и Дальнего Востока при Сибирском отделении АН СССР в Иркутске. Сотни специальных исследований, тысячи собранных данных говорят о связи между погодой и заболеваниями сердца. Так, когда на Иркутск надвигается антициклон, врачи поликлиник первые узнают о нем: резко увеличивается число больных, нуждающихся в срочной медицинской помощи. Статистика убедительно показывает, что с изменением погоды часто связаны обострения гипертонической болезни, инфаркты и инсульты, приступы астмы. Американские исследователи, например, установили, что приступы почечной колики достигают потолка в жаркое время года, когда организм человека сильно обезвоживается.

В чем же секрет? Ведь наше тело имеет постоянную, не зависящую от окружающей среды температуру. В реакции организма на колебания погоды в первую очередь принимает участие нервная система, а затем сосудистая, гормональная и кроветворная.

Влияние внешней среды на организм становится понятным, если познакомиться с опытами итальянского ученого Д. Пиккарди. Экспериментируя, Пиккарди все время держал искусственную протоплазму при постоянной температуре, влажности воздуха и освещении. Несмотря на это, протоплазма чутко реагировала на изменение магнитного поля Земли, ее электрического потенциала, на изменение солнечной активности

и колебания барометрического давления. Коллоидные растворы мутнели, в них выпадали осадки, изменялся их цвет.

Наблюдения показывают, что в зависимости от влияния метеорологических факторов на величину статического электрического потенциала (СТЭП) кожи людей можно разделить на три группы: электромобильных, промежуточных и электростабильных. У электромобильных индивидов наблюдается хорошо выраженные изменения СТЭП при изменении метеорологических условий. Электростабильные индивиды характеризуются большей или меньшей независимостью величин СТЭП от метеорологических факторов. Большая часть людей относится к средней, промежуточной группе. Как показали опыты, наибольшая величина СТЭП у представителей первой группы достигает 800 мв, у средней — 400, а у электростабильной группы — 200 мв. При хорошей погоде изменения СТЭП у людей, относящихся к промежуточной и электростабильной группам, происходили с определенным, иногда индивидуальным ритмом. Так, наблюдалось повышение СТЭП кожи в 14 час по сравнению с утренними показателями и его падение к 20 — 21 час. У части же людей за 3 — 5 час до начала дождя или грозы отмечалось значительное повышение СТЭП кожи. Динамика этих изменений по своей внешней характеристике аналогична динамике болевых ощущений, вызываемых, например, заболеванием сердца: резкий скачок вверх с последующим менее резким снижением. Когда фронт дождя или грозы проходил, величины СТЭП снижались.

Все эти факты, а также ряд других позволяют предполагать, что наш организм обладает еще многими неизвестными нам возможностями восприятия метеорологической информации.

Чрезвычайно восприимчивы к барометрическому давлению, инсоляции, температуре воздуха, влажности атмосферы и почвы растения. Поведение целого ряда растений даже позволяет людям строить правильные долговременные прогнозы погоды. Так, благодаря наблюдательности человека установлено: если береза раньше ольхи листья выкинет, будет лето ведренное, а если ольха первая распустится, пиши пропало — холод и дожди замучают. Замечено, что, когда на дубе много желудей, следует ожидать лютой зимы. Появление среди снега на проталинах, на кручах и склонах, на железнодорожных откосах первых желтых цветов самого раннего весеннего растения, известного в народе под названием "мать-и-мачеха", — верный первоуказатель тепла в конце марта — в начале апреля. Если на лугах, на лесных полянах и среди кустов в первой половине апреля распускаются золотисто-желтые цветки первоцвета, баранчики (у нас и у многих народов Запада они называются ключиками), то нужно

ждать первых теплых дней. Белые шапки медоносных цветов песнопевной рябины — точный предвестник перелома к надежному теплу. На установление теплой погоды указывает также весеннее сокодвижение у березы, клена и других деревьев. Появление на поверхности воды в прудах, реках, озерах широкого зеленого листа белой лилии, нашего северного лотоса, знаменует конец заморозков. Обильное выделение капель клейкой жидкости на широких пластинках листьев конского каштана обычно предвещает наступление длительного дождливого периода.

Народная агрономия, опираясь на многовековой опыт, учит не пропускать сроков "когда сеять, когда жать, когда скирды метать". При этом она пользуется многими приметами, связывающими сроки сева или посадки тех или иных культур с фенологическими явлениями. За основу взят живой календарь природы: начало цветения черемухи, время, когда лопаются почки дуба, и др. И выбор, надо сказать, сделан верно, так как эти индикаторы, как показала практика, весьма надежны. Появление подснежников, волосисто-мохнатой "травы-сон" (лиловые колокольчики) сигнализирует сельским механизаторам о начале весенней пахоты. Осереживание цветущих кленов указывает посевную пору свеклы. Цветение осины объявляет срок раннего сева моркови. Душистые цветы белой красавицы русского леса — черемухи — лучший указатель времени посадки картофеля. Некоторые земледельческие приметы даже стали аксиомами, твердыми правилами. Овес сей, когда березовый лист станет распускаться. Самый поздний сев овса — когда зацветут яблони. Земляника красна — не сей овса напрасно. Пшеницу сей, когда зацветет черемуха (примета ярославская). Не сей пшеницу прежде дубового листа. Сей ячмень, когда ржаной цвет чуть покажется. Рябина зацветет — пора сеять лен. Гречиху сей, когда трава хороша. Когда распускается дуб, надо сеять горох. В этих и других приметах, добытых практикой, немало полезного и для науки.

Десятки и сотни растений абсолютно точно вещают человеку о суточных изменениях погоды. Так, если обыкновенный папоротник с утра закручивает листья, будет теплый, солнечный день. Верный барометр — желтые цветки акации: перед дождем они раскрываются и выделяют много нектара (его аромат слышен за сотни метров). Точно предсказывают погоду нарядные деревца ленкоранской акации, или, как их еще называют, мимозы. Эти красивые деревца ночью и перед наступлением ненастья сворачивают свои листочки, словно боятся их замочить. Чувствительны к непогоде и их ярко-розовые, нежные цветы-пушинки.

Очень чувствительны к изменениям погоды цветки ноготков,

мальвы, ипомеи. Это настоящие оракулы погоды. Небо еще чистое, голубое и бездонное, а эти цветы уже плотно сложили свои лепестки, словно увяли. Значит, быть скоро дождю. На приближение дождя указывают также закрытые с утра цветы небольшого сорного растения — мокричника. Перед пасмурной и дождливой погодой складываются листья у лугового клевера и повисают соцветия лесной крупки. Поникают перед ненастьем белые и лиловые цветы лугового сердечника. Точно также ведут себя цветочные венчики чистотела, растущего в тени среди сорняков. Исправно несет "службу погоды" с июня по сентябрь растущий в затененных ельниках цветок-синоптик, хорошо известный туристам под названием "заячья капуста". Если его цветки розового или красного цвета не свертываются, как обычно, а распускаются ночью, утром надо ждать дождя. Но если цветки заячьей капусты нормально закрываются на ночь, это верный признак хорошей погоды. И не случайно многие садоводы, огородники, цветоводы сажают заячью капусту в горшок и держат ее в квартире на тенистых окнах вместо барометра.

Таких растений-барометров в природе насчитывается около 400! Добавьте к этому сотни своеобразных растений — гигрометров, индикаторов температуры, флюгеров, компасов, сотни чудесных синоптиков — птиц, рыб, насекомых, мысленно войдите в этот мир живой метеорологии, и перед вами предстанут тысячи оригинальных, мастерски сработанных природой механизмов, в устройстве которых таятся широчайшие возможности познания процессов, происходящих в окружающей нас атмосфере. Проникнуть в сокровенные тайны синоптиков живой природы, смоделировать наиболее совершенные, испытанные и проверенные тысячелетиями живые метеорологические "приборы", поставить их на службу прогнозирования погоды — такова одна из важнейших задач, которую поставили перед собою специалисты по бионике.

В недалеком будущем бионики надеются также внести свой вклад в решение такой задачи, как прогнозирование землетрясений.

"Каким образом?" — может спросить читатель. Об этом мы расскажем чуть позже. А пока кратко изложим современное состояние проблемы, ее актуальность, значимость и остроту.

В 1966 г. в американском журнале "Сайенс" была помещена статья Ф. Пресса и В. Брейса, в которой говорится:

> "Несколько лет назад предсказание землетрясений было вопросом, который относился к компетенции астрологов, заблуждающихся любителей, авантюристов,

стремящихся получить известность, и членов религиозных сект, проповедующих "день страшного суда". Не удивительно, что, если какой-нибудь ученый иногда осмеливался высказать какое-либо мнение по данному вопросу, он делал это с трепетом и сдержанностью, боясь, как бы его коллеги не отмежевались от него".

За последние годы положение резко изменилось. Чтобы показать, почему проблема предсказания землетрясений стала пользоваться уважением, почему над ее решением сейчас работают ученые многих стран, давайте рассмотрим некоторые сравнительно недавно происшедшие события, о которых вся мировая печать в свое время писала, как о самых страшных бедствиях.

В 1960 г. человечество постигли два катастрофических землетрясения, унесших тысячи жертв. В феврале был разрушен город Агадир в Марокко, в котором погибло около 15 000 человек. Едва успели сойти со страниц газет сообщения об Агадире, как произошло сильнейшее чилийское землетрясение или, точнее, ряд землетрясений в течение нескольких дней. Землетрясение вызвало изменение рельефа поверхности Земли в Южном Чили. Огромные морские волны, возникшие в результате землетрясения, с быстротой самолета пробежали по океану и обрушились на берега Филиппин, Японии, Курильских островов, Камчатки, отстоящих от Чили более, чем на 15 000 км. Только благодаря сравнительно малой населенности тех областей Чили, где произошло землетрясение, число жертв было относительно невелико — около 10 000; 2 000 000 людей осталось без крова. 28 марта 1965 г. Республику Чили постигла новая катастрофа, во время которой пострадало 35 городов. В эпицентре землетрясения глубина трещин достигала 30 км. Сейсмические приборы фиксировали толчки каждые 1 $^1/_2$ мин. Сила подземных ударов достигала 9 баллов.

Землетрясение для чилийца — явление обыденное. По крайней мере каждый третий день чилийцы прерывают разговор или работу, чтобы сказать: "Кажется, опять трясет — нужно закрыть форточку". Двенадцать раз в столетие Республика Чили, вытянувшаяся длинной и узкой лентой вдоль тихоокеанского побережья, переживает панику — дома исчезают в разверзнувшихся пропастях, земля становится на дыбы, реки выходят из берегов, превращая города в озера. За 65 лет XX века в Чили произошло 15 крупных землетрясений силой от 7,4 до 9 баллов. Ученые подсчитали, что в ближайшие 30 лет вероятность

сильного землетрясения для столицы Чили достигает 90%. Причина этому одна: Чили, образно выражаясь, "пряжка на огненном поясе", охватывающем огромные пространства от Новой Зеландии до Финляндии, от Японии до Алеутских островов и все западное побережье Америки с севера на юг. В этой обширной зоне происходит 40% всех землетрясений планеты, причем самых сильных!

Чрезвычайно богата событиями сейсмическая история районов Дальнего Востока, Средней Азии и Ближнего Востока. Особое место занимает кебинское землетрясение, происходившее 4 января 1911 г. Оно было исключительным не только по силе, но и по площади распространения подземных толчков. Отзвуки землетрясения три раза обогнули весь земной шар. Была нарушена вся система горных цепей южнее Алма-Аты. Упругая энергия, вызвавшая кебинское землетрясение, по-видимому, была в несколько миллионов раз больше, чем при взрыве атомных бомб, сброшенных в 1945 г. на Хиросиму и Нагасаки. В 1948 г. в ночь с 5 на 6 октября, когда большинство жителей Ашхабада — столицы Туркменской республики — спало крепким сном, далеко на юге, там, где высятся голубые цепи гор, родился необычный гул. "Похоже было, — вспоминали потом те, кто бодрствовал в это время, — что из глубины Земли прямой наводкой ударили тяжелые орудия". Это был первый вертикальный толчок. После короткого перерыва один за другим стали сотрясать Землю горизонтальные толчки. Толчки силой 9 баллов, последовавшие за первым ударом, за несколько секунд вывели из строя электростанцию, радиоцентр, водопровод, уничтожили огромное число общественных сооружений, жилых домов и нежилых строений. Не всем удалось выбраться из-под обломков, не всех удалось спасти... Спустя 18 лет, 26 апреля 1966 г., весь мир облетело сообщение ТАСС: "...в 5 часов 23 минуты по местному времени в Ташкенте произошло землетрясение силой 7,5 балла..." В этот день тысячи семей ташкентцев остались без крова. Последующие подземные толчки, а их в сентябре уже насчитывалось около 700, привели к новым разрушениям: город потерял более 2 000 000 м^2 жилья, было разрушено 220 детских учреждений, 181 учебное заведение, 36 крупных культурных учреждений. И, наконец, совсем недавно подземные силы природы. повергли в траур нашего соседа — Турцию. В городах восточных провинций Эрзуруме, Муше, Бингеле и др. число погибших и раненых достигло 12 000. Больше всех пострадал город Варто. Только здесь спасательные отряды турецкой армии извлекли из-под обломков зданий 2000 убитых и раненых. За два дня в Варто было зарегистрировано около 100 толчков силой до 8

баллов. Землетрясение сравняло город с землей.

Грандиозные чилийские катастрофы и сходные с ними по своим разрушительным последствиям ашхабадское и турецкое землетрясения — явления редкие. Однако, по данным международной сети сейсмических станций, ежегодно на Земле происходит по меньшей мере несколько миллионов регистрируемых приборами землетрясений, 19 000 ощущаемых людьми и 20 катастрофических (силой 11 — 12 баллов) землетрясений. Общая плотность упругой энергии при катастрофическом землетрясении, по расчетам ученых, достигает в эпицентре 1024 — 1025 эрг. Эта величина эквивалентна по сейсмической энергии 100 ядерным взрывам бомб, каждая из которых эквивалентна 100 Мт. Чтобы произвести такое количество энергии, Днепрогэсу пришлось бы работать в течение 300 — 350 лет! А так как на земном шаре каждые 2 час 37 мин происходит одно землетрясение такой же силы, как ташкентское, и в год не менее 1 — 2 катастрофических землетрясений в населенных районах, то нет нужды далее доказывать, насколько важно научиться предсказывать время наступления катастрофы в данном месте, чтобы можно было своевременно эвакуировать население или хотя бы вывести людей из домов на открытые места. Вероятно, приняв соответствующие меры, можно было бы предотвратить и тяжелые катастрофы на промышленных предприятиях.

Задача прогнозирования землетрясений столь же стара, как и проблема точного предсказания погоды, но во много раз сложнее ее. На какие только ухищрения не пускались сейсмологи в течение многих лет, чтобы уловить закономерность в появлении землетрясений! Какие только периоды не отыскивали в хаосе сейсмических событий за многие, многие годы! Пытались установить связи с фазами Луны, со сменой времен года, с одиннадцатилетним циклом солнечной активности, с дождями, с ветрами. Но все усилия ученых оказались тщетными. По-прежнему идут дожди и дуют ветры на нашей планете, дважды в день волны земных приливов вздымают на полметра земную кору, а последовательность подземных толчков упорно отказывается подчиняться навязываемым ей законам. Известный русский геолог И. Мушкетов подсчитал, что за истекшие 4000 лет на нашей планете погибло при землетрясениях не менее 13 000 000 человек. Ученые так и не научились предугадывать, когда, где и с какой силой может вздыбиться или разверзнуться Земля. Наука пока еще не может ни предупредить, ни предотвратить этого явления, порождаемого слепыми силами природы, и поэтому на протяжении последних десятилетий ежегодно, как

показывают данные ЮНЕСКО, от землетрясений на Земле погибает более 14 000 человек, причем убытки достигают десятков и сотен миллионов долларов!

Почему же ученым не удается решить задачу прогноза времени наступления землетрясений и их силы? Дело в том, что землетрясения рождаются в недрах Земли, в очагах, находящихся на больших глубинах от ее поверхности, совершенно недоступных для прямого наблюдения средствами современной сейсмологии. Поэтому мы очень мало знаем пока о механизме возникновения землетрясения. В основе теорий механизма землетрясений лежат главным образом косвенные наблюдения, а именно: 1) данные о смещениях поверхности пород над районом центра землетрясения; 2) данные о свойствах образцов породы, подвергаемой напряжениям в лаборатории при высоком давлении и высокой температуре, соответствующих фактическим условиям в земной коре, и 3) наблюдения за картиной распространения сейсмических волн. Однако полученные до сего времени результаты — капля в море по сравнению с тем, что еще предстоит познать.

Если считать, что в программу исследований в области предсказания землетрясений должно входить изучение всех физических параметров, реагирующих на изменения напряжений, физико-химических свойств пород или на характер деформации, то потребуется еще целый ряд наблюдений.

Землетрясению всегда предшествует накопление энергии в веществе очага. Она может накапливаться, как указывает академик М. Садовский, за счет медленных, длящихся десятки, сотни, а может быть, и тысячи лет, течений вещества недр, в результате которых в нем возникают напряжения, подобные напряжениям в пружине. Накопление энергии идет до тех пор, пока не будет превышен порог прочности вещества. Когда это случается, вещество, грубо говоря, лопается, и в окружающей очаг среде начинают распространяться сейсмические волны — происходит землетрясение. Напряжения могут возникнуть и от неравномерного разогрева вещества внутренним теплом Земли (вспомним, как лопается стекло при неравномерном нагреве). Напряжения могут возникнуть также при переходе части вещества недр из одного состояния в другое (полиморфные переходы) и т. д. и т. п. В общем, каков бы ни был механизм возникновения землетрясения, его могут предвещать изменения наклона поверхности и напряжения в районе эпицентра, общее увеличение числа малых сейсмических явлений, изменения физических свойств пород близ сброса. Чувствительны к очень незначительным напряжениям сжатия и растяжения (порядка 10

— 9 — 10 — 8) уровни грунтовых вод. В частности, после большого землетрясения на Аляске в 1964 г. в юго-восточной части США наблюдалось изменение уровня воды в колодцах. Кроме того, в ответ на изменения магнитной восприимчивости или электропроводности может измениться геомагнитное поле; оно изменяется также в случае смещения точки Кюри. Еще более чувствительными индикаторами могут служить почвенные токи (естественные или искусственные); поскольку они прямо реагируют на изменение удельного сопротивления, это изменение в свою очередь может свидетельствовать об увеличении напряжений.

Из сказанного, по-видимому, ясно, что для прогнозирования землетрясений необходимо организовать с максимально возможной точностью регистрацию всех возможных признаков, предвещающих землетрясения. Однако землетрясения принадлежат к явлениям случайным. Поэтому для обеспечения максимальной вероятности того, что большинство землетрясений удастся "уловить", очевидно, необходимо установить в сейсмически опасных зонах сеть приборов, которые бы действовали непрерывно в течение длительных периодов времени, и вести за ними систематическое наблюдение. Но если вспомнить, что только в одной нашей стране 20% территории сейсмически опасны, то становится понятным, насколько это дорого и трудно. И хотя на первый взгляд такой подход к решению проблемы прогнозирования землетрясений может показаться эмпирическим и несколько расточительным (ввиду отсутствия проверенной теории механизма возникновения землетрясений), все же он вполне себя оправдывает, если учесть тот колоссальный, ни с чем не сравнимый вред, который приносят землетрясения человечеству.

В Советском Союзе работы по прогнозированию землетрясений были начаты еще в 1950 г., вскоре после ашхабадской катастрофы. Тогда под руководством покойного академика Г. А. Гамбурцева была разработана программа широких геофизических поисков предвестников землетрясений. Однако нехватка знаний о природе землетрясений и несовершенство технического оснащения воспрепятствовали должному развитию работ. Сейчас положение существенно изменилось. На территории Ташкента сейсмоприемники, опущенные в специально пробуренные скважины, достигли глубин в 500 м. Это позволяет следить за микроземлетрясениями, которые на поверхности фиксировать нельзя — мешает шум города. В некоторые скважины опущены микрофоны, с помощью которых ведется запись подземных гулов. Высокочувствительные

приборы регистрируют медленные наклоны земной поверхности. Они позволяют отмечать даже влияние лунно-солнечного притяжения на поверхность Земли. Проводятся наблюдения за электрическими явлениями в атмосфере и т. д. и т. п.

Большую работу по изучению проблемы прогнозирования землетрясений ведут американские ученые. Вместе с японскими специалистами они разработали проект, предусматривающий установку в самых активных в сейсмическом отношении зонах США (Сан-Андреас, Гарлок и Оуэнс-Вэлли в Калифорнии и Дикси-Вэлли в Неваде, восточнее Рено) приблизительно 15 постоянно действующих групп приборов (чувствительные сейсмографы, наклонометры, тензометрические датчики, магнитометры, записывающие гравиметры, метеорологические приборы, приливометры и специальные съемочные устройства). Сейсмометры, наклонометры и тензометрические датчики собираются разместить в скважинах на глубине 3 — 5 км. Каждая группа приборов будет размещена в районе площадью 100 — 1000 км^2. Всего в районе Калифорния — Невада предполагается использовать приблизительно 1000 — 1500 датчиков. Намечено создание специальной системы для автоматической передачи и анализа данных, сообщаемых приборами. Отдельные элементы групп датчиков и сами группы датчиков будут связаны телефонной и микроволновой сетями, причем все сведения будут передаваться в центральный вычислительный центр. Вычислительные машины будут анализировать все поступающие данные. Датчики будут согласованы между собой; будут учитываться такие явления, как атмосферное давление, изменение уровня моря, приливо-отливные силы, суточное повышение и понижение температуры, изменения в тектонических напряжениях и землетрясения. Методы численной корреляции и предсказания будут запрограммированы.

Необходимо подчеркнуть, что результаты такой обширной исследовательской программы невозможно сейчас предугадать. Можно лишь сказать одно: если эта программа будет в достаточно полной мере претворена в жизнь, то можно ожидать, что многие землетрясения произойдут в тех местах, где будут размещены приборы для регистрации признаков, предвещающих землетрясение. И если в природе действительно происходят какие-то явления, предвещающие землетрясения, то описанная выше программа имеет много шансов помочь их выявлению.

По-иному собираются решить проблему прогнозирования землетрясений некоторые бионики. Так, например, профессор Токийского университета Ясуо Суэхиро считает, что научиться предсказывать землетрясения можно, тщательно изучив

поведение ряда обитателей океанских глубин и прежде всего глубоководных рыб, которые, согласно его гипотезе, заблаговременно чувствуют приближение бедствия. Свою гипотезу японский ученый аргументирует большим числом собранных им на протяжении многих лет исторических записей, свидетельств очевидцев, достоверных фактов. Вот два особенно интересных факта.

Летом 1923 г. бельгийский ихтиолог-любитель был поражен, увидев у самого пляжа в Хаяма, близ японской столицы, раздувшуюся на мелководье "усатую треску", которая, по словам жителей, водится только на очень больших глубинах. Через два дня страшное землетрясение разрушило Токио и погубило 143 000 человек. В 1933 г. один рыбак принес биологу пойманного в районе Одавара угря, какие живут обычно на глубине нескольких тысяч метров. В тот же день сильный подземный толчок встряхнул тихоокеанское побережье Японии, в результате чего погибло 3000 человек.

Нужно сказать, что, несмотря на обилие собранных фактов такого рода, профессор Ясуо Суэхиро еще совсем недавно не был вполне уверен в правильности выдвинутой им гипотезы о способности рыб "предсказывать" надвигающуюся катастрофу. По собственному признанию, он даже наедине с собой нередко посмеивался над реальностью такой возможности. Однако случай, происшедший 11 ноября 1963 г., рассеял все его сомнения на сей счет. В то утро жители острова Ниид-зима, расположенного к югу от Токио, поймали "морское чудовище" — неведомую глубоководную рыбу длиной 6 ж. Руководители радио- и телецентра предложили профессору отправиться туда на вертолете, чтобы сделать репортаж о необычайной находке. Но из-за лекций Ясуо Суэхиро вынужден был отказаться от поездки и на прощание шутя сказал, что, судя по всему случившемуся, вскоре надо ждать землетрясения. И оно действительно произошло в районе острова Ниидзима два дня спустя!

Теперь уже японский профессор больше не шутит на эту тему. Он пришел к твердому убеждению, что всестороннее изучение поведения глубоководных рыб накануне землетрясений может оказать большую помощь ученым в решении проблемы прогнозирования страшного бедствия. Исходя из этого, Ясуо Суэхиро в 1964 г. обратился через печать к мировой общественности с просьбой сообщать ему о всех наблюдениях над поведением обитателей океанских глубин накануне крупных землетрясений по адресу: Токио, район Бунке, биологический факультет Токийского университета.

Просьба Ясуо Суэхиро нашла понимание и поддержку у

ученых многих стран. В частности, один из крупнейших советских ихтиологов профессор Т. С. Расс, которого попросили прокомментировать призыв Ясуо Суэхиро, заявил следующее: "Гипотеза японского ученого заслуживает самого пристального внимания. По-моему, все ученые с удовольствием помогут профессору Ясуо Суэхиро своими наблюдениями".

Прошло три года, и в нашей печати появилось сообщение: "Недавно группа сотрудников ВНИИГеофи-зики, а также Института морфологии животных АН СССР — В. Протасов, Л. Рудаковский, В. Васильев и др. — открыла новое чувство — "сейсмический слух" (предчувствие землетрясений). Исследования, проведенные в аквариумах и бассейнах Подмосковья, уже позволили приступить к разработке опытной установки, которая будет управлять поведением рыб в естественных условиях. А впереди — создание нового типа сейсмоприемника" (вот она — бионика!).

Имеется у бионików и другой богатейший источник, из которого они могут черпать различные симптомы, связанные с приближением землетрясения, — это мир животных, обитающих на суше. По наблюдениям людей, переживших землетрясения, приближение катастрофы чувствуют заблаговременно и показывают это своим тревожным поведением собаки, кошки, гиены, тигры, слоны, львы и многие другие домашние и дикие звери. Проиллюстрируем это взятыми из жизни примерами.

В 1954 г. накануне землетрясения, разрушившего Орлеанвиль (Алжир), многие домашние животные покинули жилища. В том же году аналогичное поведение животных накануне землетрясения было отмечено в Греции. Жители, обратившие внимание на это предостережение, остались живы.

За много часов до землетрясения в Скопле (Югославия), подвергшего город жесточайшему разрушению, животные зоологического парка начали проявлять необычное беспокойство. Сторож парка Борче Трояновский рассказывает, что никогда ранее ему не приходилось слышать такого ужасного "концерта", как в ту страшную ночь накануне землетрясения. Первым, приблизительно за 4 — 5 час до землетрясения, начал завывать испуганным и каким-то трагически глухим голосом одичавший потомок завезенной когда-то в Австралию домашней собаки — динго. На его голос тут же откликнулся сенбернар. К их "дуэту" присоединились грозные голоса десятков других зверей. Испуганный бегемот выскочил из воды и перепрыгнул через стену высотой в 170 см. Жалобно кричал слон, высоко подымая хобот. Громко завывала гиена, очень неспокойно вели себя тигр, лев и леопард. К жуткому "концерту" зверей присоединились птицы —

обитатели парка. Взволнованные сторожа различными способами старались успокоить своих подопечных, но желаемого результата не достигли. Прошло еще немного времени, и как будто по чьей-то властной команде звери внезапно умолкли, скрылись в глубине своих клеток и, притаившись в темноте, стали чего-то ожидать. Теперь панический страх охватил обслуживающий персонал. Хотелось бежать... Но было уже поздно: затряслась Земля, начал нарастать подземный гул. В 5 час 17 мин 26 июля 1963 г. произошел первый страшный толчок, за ним второй... и город Скопле превратился в бесформенную груду камня; при этом погибло около 1500 человек.

А вот еще несколько интересных фактов, собранных в разное время журналистом В. Песковым и опубликованных им на страницах газеты "Комсомольская правда" 15 мая 1966 г. из района ташкентского землетрясения.

> "Дня за два до ашхабадской катастрофы к ответственному работнику пришли старики туркмены: "Будет землетрясение". — "Откуда вы знаете?" — "Змеи и ящерицы ушли из нор..." Через два дня произошло землетрясение".

Вот запись трехлетней давности: "В поезде сосед по купе достал семейные фотографии. Среди портретов я увидел снимок овчарки. "Почти как человек дорога эта собака... — сказал сосед. — Мы с женой работали в Ашхабаде. В ту ночь поздно вернулись домой. Спать не сразу легли. Я копался в бумагах. Жена читала. Дочка в коляске спала. Вдруг — чего не бывало ни разу — собака рванулась с места и, схватив девочку за рубашку, кинулась в дверь. Сбесилась! Я за ружье. Выскочили с женой. И тут же сзади все рухнуло. И весь город обрушился на глазах..."

А вот несколько фактов, записанных только что. Корреспондент газеты "Советская торговля" Олег Бычков рассказал: "26-го я проснулся от неприятного чувства: кто-то скребется в постели. Глянул — котята под одеялом. Кошка понатаскала. Я прогнал кошку, а котят перенес на кухню, где они и были всегда. Подошел к крану ополоснуть руки, и вдруг меня кинуло так, что ударился головою о стену..."

Аркадий Забровский рассказывает: "У меня десятка четыре разных пород голубей. За полминуты до первых толчков голуби вдруг с шумом покинули голубятню и, полетав в темноте, уселись на крышу. Никогда ночью такого не было. Я еще подумал: что это значит? И вдруг началось... И теперь перед каждым толчком стая взлетает..."

Таких примеров, убедительно свидетельствующих о том, что

в окружающем нас мире животных имеется много своеобразных, весьма чутких провозвестников землетрясений, можно было бы привести еще уйму. Однако о них люди почему-то больше всего вспоминают после страшных катастроф, а не перед ними. И никто из ученых, насколько нам известно, изучением "устройства" и "принципа действия" этих разнообразных "живых сейсмографов" до последнего времени всерьез не занимался. Но надо надеяться, что за это дело энергично возьмутся бионики разных стран и вместе с биологами, инженерами и сейсмологами начнут изучать подмеченные корреляционные связи между поведением живых организмов и приближением землетрясения. Тогда найдут в конце концов какие-то однозначные связи между инстинктами животных и изменением их поведения накануне стихийного бедствия и выяснят природу переносчиков и каналов распространения, а также устройство созданных природой механизмов восприятия сейсмической информации. А это уже могло бы служить началом научного предвидения землетрясений.

Разумеется, при поисках решения столь сложной проблемы, как прогнозирование землетрясений, впереди могут и безусловно встретятся болотные огни суеверий, но на этом же пути исследователей наверное ждут и ценнейшие для современной науки и техники находки и открытия. И вот тому доказательства. Недавно серией экспериментов удалось установить, что водяной жук ощущает своими волосками водяные волны высотой в 0,00000004 мм, а саранча чувствует механические колебания с амплитудой, равной диаметру атома водорода! Исключительно чутко воспринимает движение и маленький кузнечик из семейства титигония. Он чувствует самые незначительные движения почвы, передаваемые растениями, на которых сидит.

Кузнечик способен, как показали исследования, реагировать на колебания, амплитуда которых равна половине диаметра атома водорода! Это значит, что землетрясение в районе Дальнего Востока отмечают кузнечики Московской области. Разве не заманчиво познать "конструкции" всех этих сверхчувствительных "сейсмографов", созданных природой, воспроизвести их в металле и передать на вооружение сейсмологам?

На повестке дня у бионików стоит решение еще одной волнующей человечество проблемы. Мы имеем в виду так называемую проблему "вулканного прогноза".

Трудно представить себе явление более грозное, чем разгул вулканов. Во время извержения вершину вулкана окутывает клубящееся лиловое облако, похожее на гигантский кочан цветной капусты. Освещенное отблесками лавы, оно разрастается,

заслоняет Солнце, засыпает все вокруг горячим пеплом. Еще страшнее карˆ тина ночного извержения: с вершины горы к цветущим садах, зеленым равнинам и притихшим селениям движутся огненные потоки лавы, все сжигая на своем пути; обгоняя медлительную лаву, с ревом несутся горячие грязевые потоки, они увлекают с собой вырванные с корнем деревья, огромные каменные глыбы, несут смерть всему живому. Пепел Везувия похоронил на 16 веков древние города римлян Геркуланум и Помпею; в 1815 г. при извержении вулкана Тембо было выброшено в воздух около 150 км^3 пепла. Взрыв индонезийского вулкана Кракатау 27 августа 1883 г. унес более 40 000 человеческих жизней. Вулкан и сам остров взлетели на воздух. Гигантский столб вулканического пепла поднялся на высоту 30 км. Грохот взрыва слышали на расстоянии 5400 км. Взрывная воздушная волна мчалась со скоростью звука и трижды обогнула Землю. Другая волна — цунами — поднялась в океане на 35 м и совершила кругосветное путешествие со скоростью турбовинтового самолета — 566 км/час. Вулкан Катман на Алеутских островах в 1912 г. выбросил при извержении 8,5 км^3 обломков весом в 29 000 000 000 т. При последнем недавно происшедшем извержении вулкана Этны поток огненной лавы, вышедшей из кратера, достигал 50 м ширины и 4500 м длины.

Один из наиболее "бойких" вулканов полуострова Шевелуч извергался в течение 6 лет. Пусть не очень сильно, зато весьма систематично. Последний взрыв был короток. В геологическом аспекте и вовсе ничто: час-полтора. Но из кратера рванулся в небо 1 км^3 огненной массы, и на десятки километров вокруг стал неузнаваем камчатский пейзаж. Новыми руслами потекли реки, новые хребты закрыли Солнце, земля вокруг покрылась толстым панцирем лавы. Вот что натворил один только вулкан, и только однажды! А таких богатырей на Камчатке добрых 2 — 3 десятка. И у каждого свой норов, и каждый время от времени стремится показать его. Был, например, вулкан Безымянный. Так долго дремал он, что люди и забыли, как его зовут. А потом вдруг проснулся. За год его бодрствования приборы зарегистрировали 30 000 больших и малых извержений. Если бы мы умели использовать силу только одного этого вулкана, то даже мощность крупнейшей ГЭС нам показалась бы ничтожной.

В настоящее время на поверхности Земли известно более 500 действующих вулканов. Из них $^2/_3$ сосредоточены на берегах и островах Тихого океана. Только в одном Чили более 30 действующих вулканов, на острове Ява — 35, а на Аляске и Алеутских островах — 50 огнедышащих гор. Много действующих вулканов есть и в Советском Союзе. Они находятся у самых

рубежей нашей родины — на Камчатке и Курильских островах. Наряду с действующими вулканами в различных странах мира имеется немало и бездействующих, потухших, уснувших. Предвестниками их извержения иногда служат подземный гул и толчки; источники на склонах у подножия вулкана иссякают либо, наоборот, усиливают свою деятельность; на склонах и в кратере появляются трещины, выделяющие удушливые газы или горячую воду. В большинстве же случаев извержение вулкана начинается неожиданно. И предсказанию этого явления мало помогают даже самые высокочувствительные современные приборы, которыми снабжены службы наблюдения за "временно отдыхающими" и "ворчащими во сне" вулканами.

Американские вулканологи не так давно начали исследование вулкана Килауэа на Гавайских островах с самолетов, на которых установлена сверхчувствительная инфракрасная и обычная оптическая аппаратура.

Запланировано снять термокарту, на которой должно обнаружиться коренное различие между излучением в глубине вулканов и в окружающих спокойных областях. С ее помощью ученые собираются изучать зависимость между инфракрасным излучением и вулканической активностью. Эти исследования, как полагают вулканологи, быть может, позволят создать систему предупреждения извержений вулканов.

Между тем имеется немало данных, говорящих о том, что многие животные обладают способностью предвидеть извержение вулкана. Известен, например, такой достоверный исторический факт. 8 мая 1902 г. раскаленное газовое облако, вырвавшееся из кратера вулкана Мон-Пеле, за 30 сек сожгло город Сен-Пьер на острове Мартиника и всех его жителей. После катастрофы в грудах развалин и в дыме пожарищ нашли 30 000 погибших людей и один-единственный труп кошки.

Куда же девались все домашние животные, принадлежавшие некогда жителям Сен-Пьера, птицы и звери, обитавшие вокруг вулкана?

Оказывается, что с середины апреля животные начали по собственной инициативе "эвакуироваться". Первыми двинулись в путь птицы. С незапамятных времен некоторые перелетные птицы делали привал на озере вблизи города, на этот же раз они, не задерживаясь, пролетели мимо и устремились на юг Африки. На следующий день многие местные пернатые с оглушительным щебетанием тоже покинули город. Заметно оживились в это время обитатели густых зарослей на Мон-Пеле — змеи, а те, которые находились вблизи кратера вулкана, по-видимому, решили, что им пора уже покинуть родные места, и 17 апреля они

двинулись в путь-дорогу. По их "стопам" устремились и пресмыкающиеся.

Несколько дней спустя угроза стала очевидной. Вулкан все больше и больше мрачнел. И вот 3 мая в 5 час 45 мин преподаватель лицея в Сен-Пьере наскоро делает такую запись: "Собаки лают. Корова стремительно бежит по дороге, птички беспрестанно перелетают с ветки на ветку, голуби сидят нахохлившись в голубятнях, куры и утки не выходят из клеток".

А через 5 дней, когда за 30 сек город Сен-Пьер был стерт с лица земли, на его пепелище, как было сказано выше, нашли труп только одной кошки. Все остальные животные, в отличие от людей, не были застигнуты врасплох, они успели вовремя покинуть место, превратившееся в ад.

В чем же секрет умения животных предчувствовать извержение вулкана? Что именно пробуждает в животных тревогу за свою судьбу задолго до катастрофы, когда людям вокруг кажется все спокойным, — шум ли, не слышимый человеческим ухом, неуловимое ли содрогание почвы или не ощутимое никакими современными приборами инфракрасное излучение, идущее из глубин вулкана? Ученые пока не могут ответить на этот вопрос, но факт остается фактом — многие животные обладают замечательной способностью предвидеть извержение вулкана. Именно это и заставляет специалистов по бионике заняться научным исследованием загадочного феномена.

В свете рассматриваемой нами проблемы не может не привлечь к себе самого пристального внимания ученых и такое замечательное творение природы, как королевская примула. Она растет на острове Ява и называется там "цветком землетрясения". Королевскую примулу можно найти лишь на склонах вулкана. Она отличается от всех своих сестер-примул тем, что расцветает только накануне извержения вулкана и служит местным жителям своеобразным сигнализатором грозящего им бедствия. Завидев расцветшую королевскую примулу, жители деревень, расположенных у подножья вулкана, всегда покидают свои дома и устремляются в безопасные места. И заметьте — этот чудесный цветок ни разу не ошибся в своих предсказаниях.

Поистине нет границ изобретательности кудесницы-природы. Она еще не один раз заставит бионików удивляться гениальности своих творений, но вместе с тем она, несомненно, подскажет им не одну замечательную идею для создания высокосовершенной техники прогнозирования штормов, ураганов, цунами, землетрясений, извержений вулканов. И когда инженеры воплотят эти идеи в электронные системы, а метеорологи, сейсмологи, геофизики и вулканологи начнут ими повседневно

пользоваться, слепые силы природы уже не будут больше властны над человеком. Человек победит стихию!

Беседа пятая. Биологические часы

Альберт Эйнштейн, создав теорию относительности, наверное, и не подозревал, какой благодатной почвой для нынешних писателей-фантастов окажутся некоторые ее положения, изменившие веками сложившиеся привычные взгляды на такие фундаментальные понятия нашей жизни, как пространство и время. В самом деле, такая, казалось бы, незыблемая категория, как время, "стала" вдруг относительной, зависящей от того, в какой из движущихся инерциальных систем отсчета оно рассматривается. То есть время "приобрело" скорость, а вместе с ней и поразительную способность течь быстрее или медленнее...

Машина времени, захватывающие путешествия в прошлое и будущее... — кто из нас в детстве не следил за сказочно-увлекательными приключениями уэллсовских фантастических героев? Эйнштейн под машину времени подвел теоретическую базу, фантастика стала научной, но... занимательности в ней не убавилось. И до сих пор произведения писателей-фантастов поражают наше воображение и будоражат мысль множеством загадок, так или иначе связанных со временем, в основе которых лежат реально существующие явления, еще ждущие своих исследователей.

Биологические часы... Так называют в естествознании механизм (способность) измерения времени у чело-века, животных и растений. Но мало кто из широкого круга читателей знает, сколько неожиданного, поразительного, а порой даже и совершенно необъяснимого скрывается за этим лаконичным определением.

У современного польского писателя-фантаста С. Лема есть печальный рассказ о том, как после странствия в безбрежных просторах космоса путешественники в конце концов возвратились на Землю. И что же? В то время, как они странствовали один год, на Земле прошло... сто лет. Она стала для путешественников чужой и холодной — космонавты не застали в живых друзей, родных и близких, тех, кто провожал их в дальний путь. Все они состарились и умерли, в то время как сами космонавты стали старше всего на один год. Безусловно, С. Лема волновала техническая сторона космического путешествия и психологические проблемы развития общества будущего; нас же в первую очередь интересует другое: возможно ли с биологической точки зрения такое замедление внутренних процессов, биологических часов человека? Может ли так случиться, что один

космический год будет соответствовать ста земным? Что при этом будет происходить с биологическими часами не только человека, но и животных, насекомых, растений?

Но вернемся из области фантастики в наш сегодняшний день, 1967 г., третья Олимпийская неделя в Мехико. И здесь мы столкнемся с новой загадкой биологических часов. Говорит заслуженный тренер СССР профессор Н. Г. Озолин: "Наиболее коварным сюрпризом для советских спортсменов оказалась разница во времени. В Мехико все мы стали... моложе на 9 часов. А, как известно, биологические часы органов и систем очень устойчивы, и перестройка их на новый суточный режим для организма представляет большой труд, требующий в среднем две недели!"

И в этом нет ничего удивительного. Наш организм, насчитывающий приблизительно 100 триллионов (единица с 14 нулями) клеток, можно сравнить с гигантским производственным комплексом. И каждая клетка организма — это своего рода огромный завод с множеством разнообразных цехов, собственной энергобазой, конструкторским бюро, транспортным хозяйством и, главное, удивительно четко поставленной службой времени.

Нетрудно привести множество самых разнообразных примеров этой службы — биологических часов в животном и растительном мире. В самом деле, работаете ли вы или спите, мчитесь на мотоцикле или сидите в театре, плаваете ли в бассейне или гуляете по парку — вас никогда не покидает "чувство времени". Большинство людей в любое время дня и ночи довольно точно может ответить на вопрос "который час?", даже не взглянув на часы.

Американский исследователь О. Вудроу утверждает, что человек способен без ошибки оценить интервалы времени от 0,36 сек до 5 сек. Л. Дж. Милн и М. Милн в своей книге "Чувства животных и человека" рассказывают любопытную историю о покойном швейцарском композиторе Эмиле Жаке Далькрозе, который обычно развлекался со своим сыном во время совместных вечерних прогулок следующим образом. "У отца в руках были часы. Он ждал, когда они начнут отсчитывать новую минуту, затем внезапно закрывал циферблат и говорил "три" (или называл другое число по выбору — интервал времени, который нужно оценить). Какое-то время они шли молча, а затем отец и сын выкрикивали: "три" — обычно одновременно. Отец открывал циферблат часов и показывал, насколько близкими к истине были их оценки. Далькроз уверял, что любой может играть в эту игру с таким же успехом, если только он будет спокоен и не станет обращать никакого внимания на внешние часы".

Хорошо "чувствуют время" также и животные. Известно, например, что утренний крик петуха вполне может заменить звонок будильника. Помните, как у В. А. Жуковского: "Шумным бьет крылом петух, день встречая пеньем..."? Летучие мыши вылетают каждый вечер на охоту в один и тот же час. Пчелы точно соблюдают почасовое расписание, посещая цветы. На поля гречихи они прилетают только в те часы, когда цветки ее, следуя своему расписанию, выделяют нектар.

Интересные сведения приводит английский зоолог Вильям Бич о чувстве времени у ослов. Во время путешествия по Калифорнии Бич посетил одну небольшую ферму, владелец которой использовал для полевых работ только ослов. Было их у него более ста, и все они прекращали работу в полдень, минута в минуту, без всякого сигнала. И уже в 12 час 01 мин никакая сила не могла заставить их продолжать работу. Ровно в 18 час они вновь принимались за дело.

Любопытные данные опубликовал Густав Экштейн о своих наблюдениях над чувством времени у кошек. Так, кошка по кличке Вилли являлась домой после очередной ночной прогулки ровно в 8 час 10 мин утра, ни на минуту позже. Каждый понедельник ровно в 19 час 45 мин она появлялась в соседней больнице, чтобы посмотреть, как медики играют в бинго. И она ни разу не ошиблась ни днем, ни часом!

Растения также способны измерять время. Многие виды цветков выделяют нектар или запах только в строго определенное время суток. Есть водоросли, которые начинают люминесцировать перед заходом солнца, освещая море трепетно мерцающим светом. Некоторые цветки закрывают свои лепестки на ночь, а иные — распускаются только вечером. Например, ровно в 8 час вечера начинают раскрываться похожие на удлиненный стручок перца бутоны травянистого однолетнего растения энотерны. Быстро, буквально на глазах у человека, одна за другой раскрываются зеленые створки-листочки, а затем и сложенные в трубку желтые лепестки. Через 5 — 10 мин бутоны превращаются в оригинальные крупные, яркие цветки. Эти цветки живут лишь одну ночь, а затем увядают. На следующий вечер, в 8 час, распускаются уже новые бутоны. Цветки шиповника, мака, цикория распускаются обычно в 4 — 5 час утра, в 7 час утра распускается салат, в 9 — 10 час — цветки мать-и-мачехи, в 8 час вечера — душистого табака, в 9 час — ночной фиалки и т. д. Таким образом, можно создать цветочные часы, которые бы показывали время с утра и до вечера. И такие часы в некоторых ботанических садах уже созданы — на специальных клумбах посажены растения, которые цветут в различные, но строго

определенные для каждого из них часы. В назначенное самой природой время, как по сигналу, раскрываются и закрываются венчики тех или иных цветков. Многокрасочный и ароматный "живой хронометр" поражает не только своей красотой, но и необыкновенной точностью.

Все эти факты, безусловно, удивляют и даже поражают, но все же, если разобраться в явлениях, связанных с наличием биологических часов в организмах, более детально, то оказывается, что все они меньше всего относятся к области чудес, а следовательно, имеют и вполне научное объяснение. Более того, было бы очень странно, если бы растения и животные, веками испытывая на себе периодические перемены — смену дня и ночи, времен года, приливов и отливов и т. д., — не приспособились бы как-то к ним.

И вот как выражение поиска необходимых для жизни условий в результате естественного отбора в организме человека, у животных и у растений и появились внутренние биологические часы, установились самые разнообразные ритмы физиологических процессов. И ритмы эти, как показывает опыт, в точности соответствуют всевозможным природным ритмам: суточным, сезонным, годовым, приливным и т. д. Пользуясь своими внутренними часами — сопоставляя их показания с местным временем, — птицы осуществляют сезонные перелеты, отправляясь за десятки тысяч километров от родных мест и всегда безошибочно возвращаясь домой, насекомые находят путь к местам расселения и источникам пищи, рыбы — к местам нереста. Когда день достигает определенной длины, начинают цвести растения, благоухать цветы, птицы покидают зимовья, обитатели леса пробуждаются от зимней спячки.

Почему же происходят все эти чудесные превращения? По мнению многих специалистов, растения и животные как бы "наследуют" календарную память своих далеких предков, получают от них эстафетную палочку физиологического ритма. Этот древний, врожденный физиологический ритм, обусловленный свойствами самого организма и его наследственностью, называют эндогенным ("эндо" — производное от греческого слова "endon", что означает "внутри", "внутренний") в отличие от экзогенного ("экзо" — "exo" — "внешний") ритма, определяемого чисто внешними условиями.

Эти фундаментальные понятия станут яснее, если обратиться, например, к следующему опыту, проделанному недавно американской исследовательницей П. де Курси. Белки летяги, ведущие ночной образ жизни, помещались в индивидуальные клетки с колесом и содержались в полной темноте. При этом

активность каждой летяги, проявляющаяся во вращении колеса, регистрировалась самопишущим прибором. Опыт проводился в течение довольно продолжительного времени.

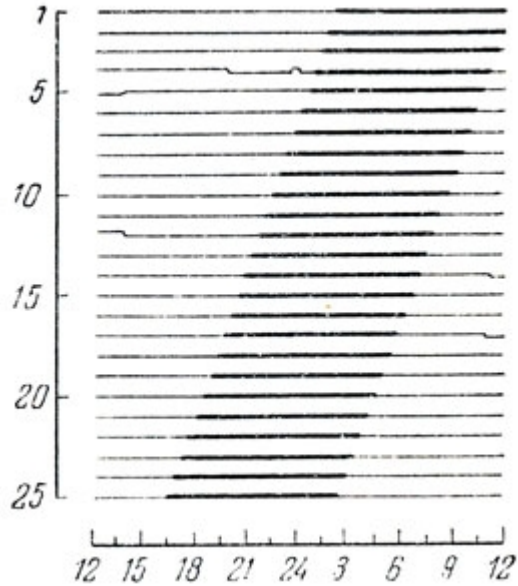


Рис. 1. Диаграмма активности (жирные отрезки) летяги в отсутствие внешних раздражителей. По вертикали — дни месяца, по горизонтали — часы суток

Ежедневные записи для каждого животного в конечном итоге сводились в общие графики (рис. 1), из которых можно было заключить, что ритмы активности у белок существуют даже в отсутствие периодически изменяемых внешних раздражителей — света или температуры, т. е. эти ритмы являются эндогенными. Удалось также определить и период ритма активности белок. Он оказался немного меньше 24 час (благодаря чему на графике несколько сдвигается начало активности).

Следует отметить, что физиологические ритмы, периодичность которых немного больше или меньше 24 час, т. е. ритмы околосуточные, довольно широко распространены в природе, и для обозначения их в научной литературе даже применяется специальный термин "циркадные" — "циркадные ритмы".

Например, установлено, что у растений есть внутренние часы с периодом 23 — 28 час, у животных — 23 — 25 час, причем среди них есть и особи, циркадный ритм которых в точности равен 23 час 54 мин и 4,09 сек.

Исследования показали, что суточные ритмы активности наблюдаются не только у многоклеточных растений и животных,

но и у простейших одноклеточных существ (суточные ритмы фотосинтеза, деления и роста клеток у водоросли Gonyaulax). Циркадные ритмы обнаруживаются даже у отдельных кусочков ткани, вырезанных из организма и помещенных в питательный раствор. Все эти факты при их анализе невольно наводят на мысль, что ритмичность физиологических процессов, их периодичность — это неотъемлемое свойство каждого организма, вплоть до мельчайшей клеточки. Но подробнее об этом потом.

А сейчас расскажем об удивительных фактах и закономерностях суточных, лунных, приливных и сезонных ритмов у растений, животных и человека.

Многие из нас замечали, как шляпка подсолнечника поворачивается за Солнцем. Даже если небо закрыто тучами и не видно Солнца, шляпка все равно поворачивается с равномерностью часовой стрелки! А разве не удивительно, что москиты в Экваториальной Африке кусаются также "по расписанию" — часто всего полчаса в сутки. В зависимости от вида они могут кусаться в поздние сумерки, в полночь или рано утром. А обычные медоносные пчелы? Еще Белинг в 1929 г. установил, что их можно приучить летать к кормушке в определенное время. Причем опыт удавался даже тогда, когда улей и кормушка находились в закрытом помещении, днем и ночью освещенном искусственным светом. Значит ли это, что у пчел есть собственные часы? Но, может быть, пчелы способны даже в изолированном помещении узнавать время по Солнцу, пользуясь каким-то неведомым человеку чувством? И вот, чтобы решить этот вопрос, Реннер провел такой опыт. В Париже в изолированной камере с искусственным освещением пчел приучили прилетать за пищей в определенные часы. Затем улей перевезли на самолете в Нью-Йорк и опять поместили в камеру. На следующий день пчелы собрались у кормушки в обычные часы по парижскому, а не по местному времени. Значит, пчелы все-таки узнают время по внутренним "часам", а не по Солнцу!

Теперь о циркадных ритмах человека. Оказывается, в организме человека одновременно протекает более 40 физиологических процессов, для которых характерна суточная ритмичность. И не случайно ученые и в шутку и всерьез говорят, что одного и того же человека можно встретить только в определенное время разных суток. Суточный режим обмена веществ, определяемый по интенсивности дыхания и температуре тела, впервые был обнаружен в XIX веке, вскоре после введения в клинике термометров. Тогда же было обнаружено, что этот ритм сохраняется даже у людей, длительное время находящихся на постельном режиме.

Суточные ритмы дыхания и температуры тела человека отражают изменения уровня обмена веществ и представляют яркий пример циклических колебаний.

Как показали опыты, мышечная работа и даже положение тела могут изменить температуру тела. На протяжении суток у человека также наблюдаются изменения температуры тела. Например, наиболее высокой она бывает в 18 час, а самой низкой — между 1 — 5 час. При этом амплитуда колебаний температуры составляет 0,6 — 1,3°. Изменение режимов сна и бодрствования влечет за собой и изменение температурного ритма. У людей, постоянно работающих в ночную смену, часто наблюдается повышение температуры ночью.

Суточная периодичность характерна и для сердечной деятельности. Во время сна сердце бьется медленнее, а наибольшая частота сердечных сокращений обнаружена около 18 час. В те же часы наблюдаются самые высокие показатели "верхнего" и "нижнего" уровня кровяного давления. Экспериментально установлено, что деятельность органов кровообращения в различное время суток неодинакова: около 13 и 21 час она резко снижается.

Состав крови ярко свидетельствует о наличии в организме суточных колебаний физиологических процессов: так, костный мозг наиболее активен рано утром, а селезенка и лимфатические узлы — около 17 — 20 час. В утренние часы в кровоток поступает наибольшее число молодых эритроцитов. Максимум гемоглобина в крови отмечается с 11 до 13 час, минимум — с 16 до 18. Максимум сахара — утром, минимум — ночью. Работа желез внутренней секреции также характеризуется периодичностью. Уровень адреналина в крови максимален с 7 до 9 час утра, т. е. до начала двигательной активности, что как бы подготавливает к ней организм (рис. 2).

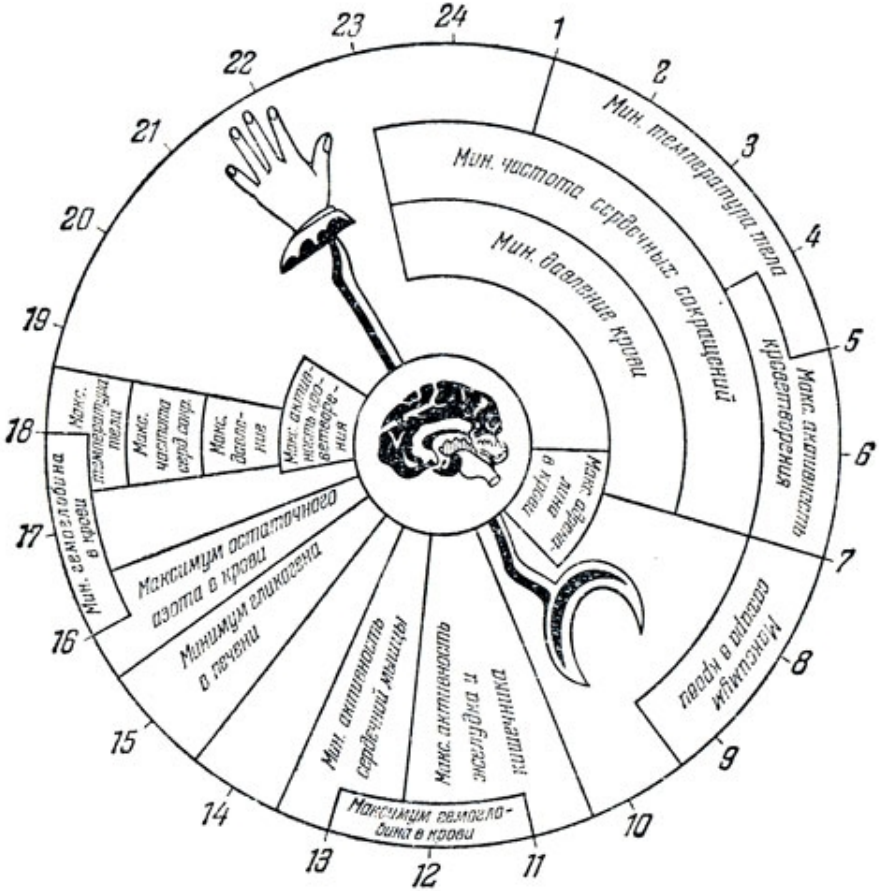


Рис. 2. Суточные биологические ритмы в организме человека

Однако следует отметить, что в природе встречаются периодичности и гораздо большей длительности, чем суточная, например сезонная. Причем она тоже, как и суточная, достаточно устойчива. Так, газели, перевезенные из Экваториальной Африки в Каир, несколько лет сохраняют прежний сезонный ритм размножения.

До неправдоподобия сложная система циклов существует у массачусетских крабов. Благодаря сокращению и увеличению пигментных клеток окраска их меняется от цвета очень светлой слоновой кости ночью до темного буровато-серого днем. Кроме солнечного ритма у крабов проявляется еще и ритм прилива: ночью, во время прилива, они гораздо бледнее, чем во время отлива, т. е. темнее при малой воде, чем при полной. А как известно, крабы во время прилива прячутся в норах, а при отливе выползают за пищей (рис. 3). Вероятно, темная окраска позволяет

крабам лучше сливаться с цветом глины в солончаковых канавах, и они становятся почти невидимыми для своих врагов. И свойство это настолько устойчиво, что крабы даже в лабораторных условиях продолжают менять свою окраску. И даже в полной темноте! Интересно, что при определенном опыте можно даже читать "часы" краба, сравнивая окраску его тела со справочной морской картой. Если каждый час связывать с определенным расположением пигмента, нетрудно даже вычертить график, на котором отчетливо видно взаимодействие 24-часового "солнечного" и 12,75-часового "приливного" циклов краба. При этом даже оторванная лапка краба будет в течение суток (или несколько дольше) менять цвет согласно солнечному и приливному циклам.

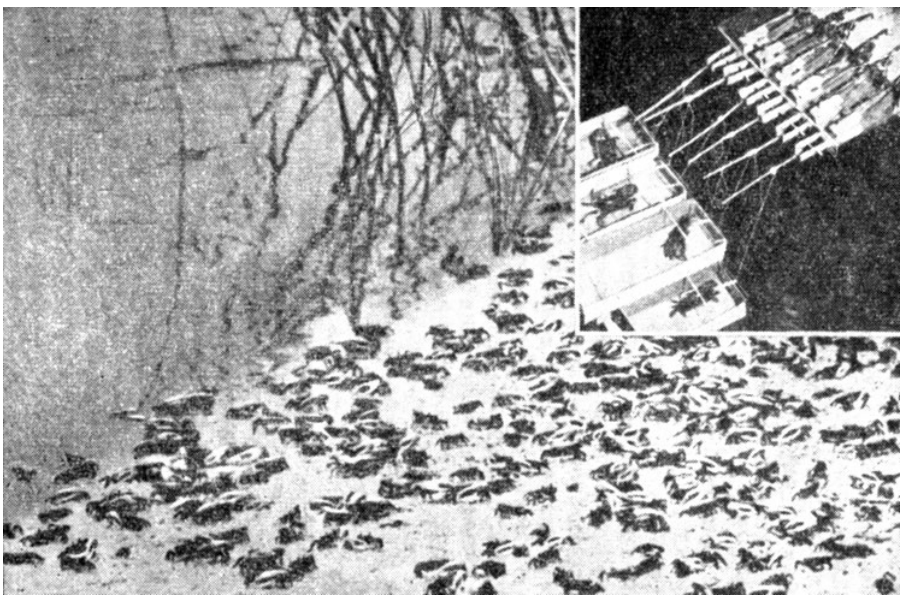


Рис. 3. Как на берегу, так и в лаборатории манящие крабы ищут пищу точно в час отлива

Как известно, приливы образуются под влиянием гравитационного притяжения Луны и Солнца. Движение воды определяется к тому же очертаниями материков и начинается обычно с некоторым запозданием — в зависимости от географического местоположения. Поэтому, очевидно, легче составить целый том соответствующих таблиц, чем сконструировать часы, предсказывающие расписание приливов и отливов. А маленький краб имеет эти удивительные солнечно-приливные часы!

Вообще, если внимательно приглядеться к живым организмам от простейшей одноклеточной водоросли до

человека, то мы увидим, что измерение времени и "запоминание" тех или иных важнейших периодов и интервалов — также всеобщий закон живой природы.

А как обстоит дело у растений? Чем, например, определяется время их цветения? Каковы часы, по которым они ведут отсчет времени, определяют времена года?

Осень 1967 г. была чрезвычайно теплой. На Кубани она даже напоминала весну. И вот кое-где расцвела уже сирень. Да, да, сирень — осенью. А в одном подмосковном городке прохожие с удивлением останавливались перед яблоней, на ветках которой рядом со зрелыми яблоками распустились нежно-белые цветы. Почему же растения "поверили" погоде? Вот и в 1948 г., когда в Крыму стоял удивительно теплый январь и температура днем переваливала за 20° Ц, зацвел миндаль. Все 400 сортов и 2000 гибридов ботанического сада, полудикие деревья на склоне гор — все "обманулись", зазеленели или начали цвести. А в феврале ударили морозы, и деревья, увы, почти все замерзли.

Советскому ученому Рихтеру удалось раскрыть тайну механизма внутренних биологических часов миндаля. Но сколько еще осталось невыясненного и удивительного в мире физиологических ритмов! Возьмем, например, червя палоло, встречающегося в Тихом океане возле острова Самоа. Как он приспособил свои действия к лунному дню, к лунному месяцу?

Как известно, лунный день длится 24,8 час (от одного восхода Луны до другого), лунный же месяц состоит из 29,5 дня (от одного полнолуния до другого). И вот в октябре и ноябре, когда три четверти Луны освещены Солнцем, во время ночного прилива из коралловых рифов выползают полчища червей палоло. Интересно, что местные жители даже устраивают в это время ночью особые празднества, на которых главным лакомством считается блюдо из червя палоло. Обладают внутренними часами также и устрицы, причем их часы идут по приливному времени. Как рассказывают Л. Дж. Милн и М. Милн, панцирные моллюски, выловленные в бухтах Новой Англии и во влажной упаковке доставленные в лабораторию на Среднем Западе, находясь даже за полторы тысячи миль от океанских приливов, продолжают по ним регулировать свою жизнь, изменяя ширину щели между створками раковины, а вместе с этим и потребление кислорода.

Большую роль играют биологические часы и в способности пернатых ориентироваться в пространстве. Замечено, например, что жаворонки корректируют свой путь, отыскивая север. Ранним утром, сориентировавшись на восходящее на востоке Солнце, они поворачивают влево на 90°. Любопытно, что если жаворонков

подержать 12 — 18 дней в помещении, где ежедневно свет включается на 6 час позже, т. е. фактически в полдень, то это оказывается достаточным, чтобы сбить ход их биологических часов. Выпущенные на волю подопытные жаворонки ориентируются теперь на полуденное Солнце и поворачивают от него на 90° влево, как они делали это утром. Но теперь Солнце, естественно, уже стоит не на востоке, а на юге, и вместо севера бедным, вконец запутанным человеком птицам приходится уже лететь на восток!

Итак, как мы убедились, самые разные ритмы — суточные, лунные, приливные и сезонные — присущи всему живому — от червя палоло и деревьев миндаля до газелей и человека.

Как же образуются эти ритмы у человека? Возьмем, к примеру, суточный ритм. Поскольку уже давно было известно, что 24-часовой ритм (температура тела, чередование сна и бодрствования) устанавливается у новорожденных постепенно, логично было бы предположить, что этот ритм возникает в растущем организме только под влиянием окружающих условий. Но есть и другая гипотеза: некоторый внутренний ритм, существовавший в организме еще до рождения, постепенно устанавливается при помощи внешних датчиков времени, синхронизируется с ними. На Международном симпозиуме по биологическим часам в 1960 г. доктор Хельбрюгге сделал сообщение о развитии циркадных ритмов у детей. Оказалось, что их физиологические функции формируют свои суточные ритмы независимо друг от друга и в разное время (рис. 4).

Интересно, развивается ли 24-часовой ритм у людей исключительно под влиянием внешних факторов? Оказывается, что если сравнивать ритмы сна и бодрствования, изменение частоты пульса у недоношенных детей и у детей, родившихся в срок, то у первых суточный режим обеих функций развивается позже. Значит, экзогенные факторы имеют все-таки меньшее значение, в противном случае суточный ритм у родившихся одновременно детей должен был бы и развиваться одновременно.

Вообще исследование природы приспособления живых организмов к окружающей среде обычно сводится к исследованиям трех типов:

Прежде всего выясняются все формы проявления интересующего нас феномена и все его закономерности.

Затем ищут, где же расположен сам "механизм", обусловливающий эти явления в организме.

И, наконец, исследуют природу, т. е. физическую и химическую сущность, изучаемого "механизма".

Мы с вами ознакомились с интереснейшими фактами

проявления биологических часов у растений, животных и человека, и теперь, если придерживаться вышеизложенного плана, следует несколько подробнее остановиться на закономерностях функционирования биологических часов, на зависимости их хода от различных факторов.

Можно ли остановить биологические часы и каким образом? Как пустить их в ход? Как заставить их спешить или отставать? Что влияет на ход этих часов: чередование темноты и света, изменение температуры, вращение Земли? Особенно много исследований посвящено проблеме влияния длительности светового дня.

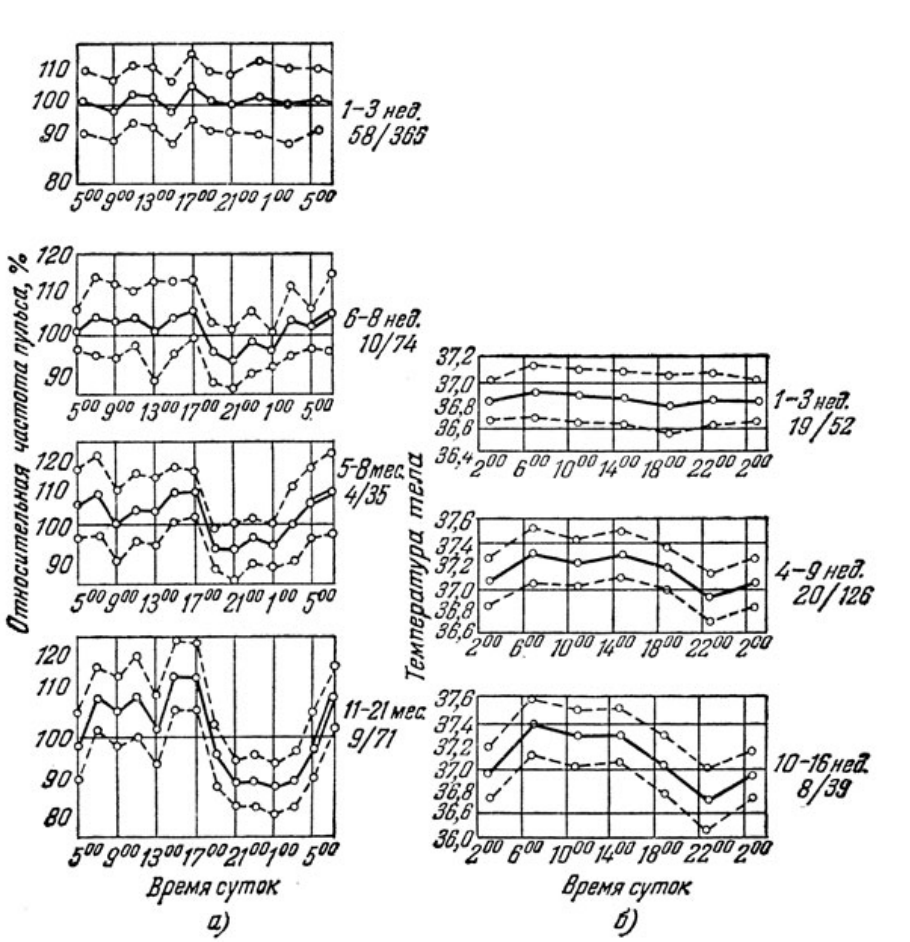


Рис. 4. Развитие суточных ритмов у детей. а) Частота пульса; б) температура тела. Сплошные линии — средние значения показателей физиологических функций, пунктирные — характеристика разброса. Справа у графиков в числителе — число обследованных детей, в знаменателе — суммарное число суток, затраченных на обследование всех детей

У ученых даже сложилась здесь специальная терминология. Для краткости условия непрерывного освещения обозначают СС (свет, свет), непрерывной темноты — ТТ, а циклы, состоящие в чередовании фаз света и темноты, — СТ. Например, суточный ритм, состоящий из 12 час света и 12 час темноты, по этой системе будет обозначаться 12С — 12Т.

Биологические часы были бы совершенно непрактичны, если бы их нельзя было переводить назад и вперед.

Опыты показали, что если держать животное, активное при свете, в полной темноте, то обычно через несколько дней суточный цикл его жизнедеятельности пропадает, но его можно опять полностью восстановить, воздействуя на животное светом. Так, у мушки дрозофилы суточный цикл восстанавливается вспышкой света продолжительностью всего 0,005 сек! А чтобы "пустить" в ход "часовой механизм" фасоли, выросшей при непрерывном освещении, — заставить, например, подниматься и опускаться ее листья, — надо подержать фасоль не менее 9 — 10 час в темноте. Причем если это количество часов темноты будет дано с перерывами, то биологические часы фасоли ни за что не заведутся. Однако если фасоль выросла в непрерывной темноте, то описанный ритм возникнет после самого кратковременного ее освещения.

В случае же изменения длительности циклов света и темноты организм непременно приспосабливается и к ним. Весьма показателен в этом отношении эксперимент, проведенный немецким ученым М. Линдауэром. Он привез с Цейлона в Мюнхен индийских пчел. Так как длительность дня и ночи тропического и умеренного поясов не совпадают, вполне естественно было бы ожидать, что пчелы, биологические часы которых идут по тропическому времени, в условиях континентальной Европы будут полностью дезориентированы. Так оно и случилось. Но прошло всего лишь шесть недель, и все вошло в норму: пчелы перестроили ход своих "часов" на европейский лад, а потом и совсем европеизировались, превосходно приспособившись к новым условиям.

Американский ученый Хампер из Калифорнийского университета исследовал, как влияет нарушение циркадного ритма на развитие растений. Опыт проводился с соевым деревом. Когда Хампер создавал дереву "ночь" длительностью 16 час и "день" — 8 час, оно цвело так же, как и в естественных условиях. Но стоило только продлить "ночь" до 24 час, а "день" оставить прежним — дерево переставало цвести. Однако при этом обнаружилась и интересная закономерность: если полный цикл

СТ был кратен 24 час, например, "ночь" составляла 64 час, а "день" — 8 час, цветение наступало, как обычно.

Любопытные наблюдения провели китайские ученые. С 11 до 13 час плодовые деревья закрывали от дневного света. Оказалось, что этот своеобразный "мертвый час" пошел деревьям на пользу. Яблоки наливались и созревали в три раза быстрее и были больше обычных яблок подобного сорта!

И, наконец, советские ученые И. Е. Лобашев и В. Б. Савватеев провели множество опытов с курами. Цыплят с первого дня жизни содержали при ритме 8С — 4Т, т. е. 8 час света, 4 час темноты. Ночь каждые сутки для них наступала с 12 до 16 и с 24 до 4 час. Птицы вскоре приспособились к этим условиям. После кормления они засыпали в середине "дневной ночи", и в конце ее петухи даже пели по нескольку раз, а в 16 час куры отряхивались и чистили перья. В то время как контрольные куры начинали готовиться ко сну, садились на насесты, подопытные разгуливали и в сумерках, разыскивая в траве корм.

Теперь расскажем, как влияет на работу биологических часов температура. Оказывается охлаждение организма до 0° и ниже влечет за собой остановку биологических часов! Но стоит животное отогреть, повысить его температуру до нормальной, и "часы" снова начинают идти. И самым любопытным при этом оказалось то, что, подобно обычным часам, которые некоторое время стояли, а затем были пущены в ход без перевода стрелок, биологические часы животных в этом случае будут "отставать" ровно настолько, сколько они находились в покое при 0°, и все ритмические циклы при этом соответственно сдвинутся. Так, если пчел подержать в холодильнике, они опаздывают к кормушке. Однако если тех же пчел подержать некоторое время при необычно высокой температуре, то они раньше положенного появятся у кормушки. Между тем "часы" идут достаточно стабильно в том широком диапазоне температур, при котором обычно протекает жизнь пчел. Это и понятно. От биологических часов не было бы большой пользы, если бы в теплые дни они шли намного быстрее, чем в холодные. В этом нет ничего удивительного, например, когда речь идет о млекопитающих, у которых температура тела колеблется от 35 до 40° и регулируется самим организмом. Но и у других живых существ — рыб, лягушек и змей, температура тела которых, как известно, больше зависит от температуры окружающей среды, — биологические часы в этом случае не ускоряют и не замедляют своего хода!

Б. Суини и Д. Гастингс провели серии опытов, выясняющих, влияют ли изменения температуры на ход биологических часов у водоросли Gonyaulax. Длительность свечения этого

микроскопического растения измерялась при непрерывном освещении и различных температурах. Оказалось, что изменения температуры вызывают небольшие, но определенные изменения длительности цикла свечения у этой водоросли.

Однако, несмотря на обилие фактов, так или иначе связанных с физиологическими ритмами, сам механизм биологических часов для ученых продолжает все же оставаться загадкой. Тем не менее ученые при этом высказывают предположение, что биологические часы, по-видимому, связаны с каким-то внутриклеточным обменом веществ. Правда, как оказалось, с повышением температуры скорость внутриклеточных реакций возрастает, но ведь темп хода биологических часов меняется при этом незначительно.

А можно ли повлиять на "ход" биологических процессов химическими веществами? Оказывается, можно. Так, яды, угнетающие обмен веществ, снижают и амплитуду циклических колебаний. Например, под влиянием спирта удлинение периода достигает иногда 5 час. Папаверин и наркотин несколько удлиняют периоды биоритмов. Однако биологические часы при этом совсем не останавливаются. Так, было доказано, что они продолжают идти даже у наркотизированных пчел.

Долгое время ученых интересовало, чувствуют ли организмы вращение Земли? Не связан ли циркадный ритм с суточными изменениями давления воздуха, космического излучения и ионизации воздуха? Это можно было бы выяснить, найдя место, где эти факторы не меняются. И поэтому доктор Хампер решил проводить свои эксперименты на Южном полюсе. Кабину с животными и растениями поместили на платформу, вращение которой в одних экспериментах компенсировало вращение Земли, в других — усиливало его, а в третьих — замедляло. И вот, несмотря на то, что испытуемые животные и растения находились в полной темноте, циркадный ритм сохранился и биологические часы продолжали идти нормально. По-видимому, это означает только то, что циркадный ритм является эндогенным и, в частности, не зависит от вращения Земли.

Однако американский профессор Ф. Браун и возглавляемая им небольшая группа биологов сомневаются в том, что так называемые постоянные условия, создаваемые искусственно в лаборатории, могут полностью изолировать живой организм от любых изменений внешней среды, к которым он чувствителен. В отличие от большинства ученых, считающих, что ход "внутренних часов" не зависит от окружающей среды, Браун и его коллеги полагают, что биологические часы регулируются какой-то пока еще неизвестной человеку ритмически изменяющейся силой,

действующей в природе. Эта сила проявляется, в частности, в изменениях таких факторов, как атмосферное давление и сила тяжести. Иными словами, по мнению этих ученых, для нормальной работы биологическим часам необходим непрерывный приток информации извне, подобно тому как электрическим часам необходимо непрерывное питание от электрической сети.

На чем же зиждется утверждение Ф. Брауна, что ход биологических часов тесно связан с такими явлениями, как магнитное поле Земли, земное притяжение, барометрическое давление?

Ф. Браун давно экспериментирует с картофелем. "Клубни картофеля, по-видимому, — пишет В. Мартека в своей книге "Бионика", — реагируют на изменения в состоянии атмосферы, даже находясь в постоянных условиях освещения, температуры и давления. Изменения, о которых идет речь, известны под названием атмосферных приливов. Они вызываются теми же силами тяготения, что и морские приливы. Однако на атмосферные приливы большее влияние оказывает не Луна, а Солнце. Газы, как известно, при нагревании расширяются. Излучение Солнца нагревает земную атмосферу. Поскольку Земля нагревается Солнцем только с одной стороны, наблюдаются суточные циклы атмосферных приливов".

Эти термические атмосферные приливы регистрируются на Земле барометрами — приборами, измеряющими атмосферное давление. Барометр регистрирует начало атмосферного прилива, поскольку при этом повышается атмосферное давление. Атмосферный прилив начинается утром, достигая наивысшей точки примерно к 10 час. Затем он начинает убывать до некоторого нижнего предела, приходящегося на вторую половину дня. Именно эти атмосферные приливы выявились в экспериментах профессора Брауна с клубнями картофеля.

Из картофелин вырезали кусочки цилиндрической формы так, чтобы на каждый цилиндрик приходилось по одному глазку. Эти кусочки помещали в специальный контейнер, свободно "подвешенный" в воде при постоянной температуре; опыт проводили в полной темноте. Контейнер был совершенно герметичен и надежно изолировал глазки картофеля от влияния возможных изменений атмосферного давления. Специальные электронные приборы измеряли интенсивность дыхания этих кусочков, т. е. количество кислорода, потребляемого ими в единицу времени.

Было установлено, что кусочки картофеля ведут себя, как живой барометр, реагируя на изменения атмосферного давления

в течение дня, несмотря на то что они, казалось бы, совершенно ограждены от влияния изменений, происходящих в земной атмосфере. Скорость потребления кислорода этими кусочками в период между 5 и 7 час утра соответствовала изменениям барометрического давления в период между 2 и б час утра. В то время, когда большинство людей возвращается с работы или уже обедает (т. е. от 17 до 19 час), интенсивность потребления кислорода изолированными от внешних влияний кусочками отражала изменения атмосферного давления в период между 14 и 18 час того же дня.

Еще более примечательно, что кусочки картофеля реагировали на случайные изменения атмосферного давления, приводящие к изменению погоды. Все эти изменения давления (которые могли повлечь за собой грозу, град или снегопад) отражались на скорости потребления кислорода глазками. В одном случае по изменению интенсивности дыхания кусочков картофеля можно было даже предсказать изменения атмосферного давления на целых два дня! Для того чтобы иметь возможность реагировать таким образом на случайные изменения в атмосфере, подопытные глазки должны были постоянно получать какую-то информацию извне.

Начиная с 1954 г. из лаборатории Брауна непрерывно поступали все новые данные, подтверждавшие теорию универсальных геофизических часов. В контейнерах Брауна перебывали по очереди манящие крабы, морские водоросли, морковь, дождевые черви, мыши. Все эти организмы в той или иной степени реагировали на изменения внешней (по отношению к контейнеру) температуры, атмосферного давления и даже космического излучения и магнитного поля Земли. Последние два фактора особенно важны, поскольку их изменения взаимосвязаны. Главным определителем времени для всех биологических часов служит, по-видимому, бесшумное движение в космическом пространстве Солнца, Земли и Луны. И именно этот главный хронометр определяет, вероятно, ритмы и живых организмов и всех факторов внешней среды.

В целях проверки гипотезы Фрэнка Брауна американские специалисты, по сообщениям печати, предполагают осуществить оригинальный эксперимент: на орбиту вокруг Солнца будет выведен миниатюрный искусственный спутник с клубнем картофеля! Этот интересный эксперимент должен показать, выйдут ли биологические часы из строя, погибнет ли космическая "плантация" вследствие нарушения биологических ритмов вне сферы влияния земного тяготения или нет.

Что же, нам остается только ждать результатов космического

эксперимента. "Если бы удалось доказать, — пишет В. Мартека, — что подопытные организмы, помещенные в постоянные условия, в самом деле испытывают влияние неких ритмических сил, то современные представления о биологических часах пришлось бы коренным образом пересмотреть".

Итак, ознакомившись с удивительными фактами проявления и изменения хода биологических часов, зададимся вопросом: где же все-таки расположен в организме этот механизм, этот верховный метроном?

Опыты с одноклеточными водорослями Gonyaulax показали, что механизм биологических часов может помещаться и в одной клетке. А в многоклеточных организмах, как предположили ученые, существует даже своеобразная иерархия ритмов и часы отдельных клеток как-то согласуются с суточными ритмами "ведущих клеток". Найти такие задающие ритмы клетки чрезвычайно важно и вместе с тем трудно. Возможно, они управляют ходом часов подчиненных клеток нейро-гу-моральным (от латинского "humor" — влага) путем.

Американский физиолог Жаннет Харкер сумела поставить ряд тонких экспериментов над тараканами.

Она предположила, что у тараканов (Ж. Харкер много лет ставит эксперименты над этими насекомыми) определенные ритмы активности можно объяснить влиянием какого-то гормона. А если это так, то присутствие данного гормона в крови одного таракана могло бы влиять на ритмы биологических процессов другого (снабжаемого кровью первого). Для проверки выдвинутого предположения Харкер сращивала спинками двух тараканов так, что кровеносная система у них становилась общей. В каждой такой паре неритмичный нижний таракан (его жизненный ритм был временно приостановлен долговременным непрерывным освещением) имел ритмичного верхнего партнера, жившего до эксперимента в нормальных условиях. Нижний таракан мог двигаться, а верхнему отрезали все ноги, чтобы ограничить его подвижность. Когда этих "сиамских близнецов" поместили в условия непрерывного светового дня, нижний таракан стал проявлять активность с тем же ритмом, к которому в свое время был приучен верхний безногий таракан! Следовательно, какой-то гормон верхнего таракана служил пусковым механизмом ритма активности нижнего.

Далее, последовательно прижигая группы нервных клеток, составляющих часть мозга насекомого, Ж. Харкер удалось найти местоположение биологических часов. При пересадке этого кусочка нервной ткани другому таракану часы "продолжали идти", вызывая регулярное образование в организме гормона.

Таким образом было доказано, что группа нервных клеток может играть роль механизма отсчета времени. "Если часы останавливали на некоторое время путем местного охлаждения соответствующего участка нервной ткани, то нормальный ритм не нарушался; когда часы вновь "запускали" (т. е. прекращали охлаждение), выделение гормона продолжалось по-прежнему. По-видимому, в то время, когда эти биологические часы таракана были временно остановлены, какие-то другие, более важные часы, находящиеся в какой-то другой части организма, не подвергавшейся охлаждению, продолжали действовать, отсчитывая время. Иначе говоря, эти главные часы просто восстанавливали нормальный ритм останавливавшихся часов".

Анализируя результаты экспериментов Ж. Харкер, В. Мартека пишет: "Мысль о возможности существования двух необыкновенно точных часов, контролирующих один и тот же ритм, покажется менее нелепой, если попытаться представить себе, как они работают. По всей вероятности, биологические часы, находящиеся в определенном участке нервной ткани, регулируют повседневную активность таракана; главные же часы вмешиваются только в тех случаях, когда показания этих повседневных часов слегка отклоняются от их собственных. Это происходит, например, когда постепенные изменения освещенности, сопровождающие смену времен года, несколько сдвигают стрелки главных часов. А уж тогда главные часы в свою очередь переводят повседневные часы, как бы говоря им: "Измените немного свой ход. Дни-то ведь становятся длиннее".

И еще. "По мере того как Харкер и другие исследователи углублялись в изучение сложных взаимодействий между разными биологическими часами, выявился один интересный факт. Оказалось, что граница между тканями, действующими в качестве часов, и тканями, не обладающими такой способностью, слишком расплывчата. Стало понятно, что от всех прежних попыток обнаружить и выделить некие определенные универсальные часы или некий отдельный ритм следует отказаться. До сих пор еще не установлено, служит ли основная единица жизни, т. е. клетка, маятником для всех биологических часов или же она содержит в себе такой маятник".

Поговорим теперь о самом сложном и важном — о природе, физиологической и химической сущности механизма биологических часов. При попытках выяснить, что же все-таки приводит в действие живые часы, ученым удалось лишь "остановить" или "переставить" их. Вспомним опыт с жаворонками, который показал, что способность ориентироваться в пространстве по Солнцу или звездам определяется работой

внутренних часов. В этом и других случаях животным и растениям приходится определять время с точностью до минут. По мнению советского ученого С. Э. Шноля, такая "точность хода" биологических часов позволяет думать, что в основе циркадных ритмов лежат процессы с относительно коротким периодом. И анализ этих систем возможен лишь на основе современных представлений об общих свойствах колебательных систем, т. е. на основе рассмотрения физических и математических особенностей данного периодического процесса.

Некоторые зарубежные специалисты-бионики стремятся создать электрический аналог биологических часов. В состав одного из таких аналогов введен генератор, характер колебаний которого зависит от воздействия окружающей среды — чередования света и темноты, фаз Луны и т. п. Такой прибор, по замыслу его создателя, "должен пролить дополнительный свет на процессы функционирования биологических систем".

Интересно, что суточные ритмы свойственны лишь клеткам, в которых ядро четко отграничено от цитоплазмы специальной мембраной, т. е. клеткам, имеющим внутреннюю и внешнюю оболочки (двухоболочечным). У бактерий же и других однооболочечных организмов биологические часы пока не обнаружены.

В настоящее время трудно сказать, насколько диффузия и процессы биосинтеза могут обусловить периодические процессы с периодом, не превышающим нескольких минут.

Таким образом, пока можно считать вполне вероятным, что суточная периодичность основана на химических или физико-химических процессах. Длительность периодов этих процессов мала, и здесь можно провести аналогию между биологическими и обычными часами. Как известно, точность хода механических часов обусловлена стабильностью частоты быстрых колебаний маятника. Пока часовая стрелка завершает суточный цикл, маятник осуществляет множество колебаний.

Идею о сходстве между организмом животного и часовым механизмом выдвинул еще Декарт. Но пока человек не стал обладателем ключей, открывающих заветные двери к познанию, все его попытки проникнуть в тайны биологической хронометрии были обречены на неудачу подобно тому, как если бы скажем, марсианин или житель другой далекой планеты попытался бы вдруг узнать устройство механизма башенных часов на Земле, разглядывая в телескоп их циферблат со стрелками. Лишь в наше время ученые подошли вплотную к построению моделей биологических часов. И они послужат нам лучше, чем старая сказка о часах, звонящих прямо в животе крокодила. Вы,

вероятно, помните эту сказку о Питере Пэне английского писателя Д. М. Барри. Крокодил случайно проглотил часы — будильник — одни из тех патентованных часов, которые заводились сразу на 99 лет, причем гарантировалось, что они будут идти, где бы то ни было и в каком угодно положении. В сказке часы продолжали идти и в желудке крокодила, и их тиканье было слышно на далеком расстоянии...

Однако вернемся к механизму биологических часов, которые всю жизнь неслышно идут в организме животных, включая и вышеупомянутого крокодила. Автор известной книги "Ритмы физиологических процессов" Э. Бюннинг, например, считает, что для измерения времени в организмах могут быть использованы периодические процессы, протекающие в белках актомиозинового комплекса. Возможно также, что колебания "маятника" биологических часов обусловлены регуляцией внутриклеточных систем.

Советский ученый, биолог А. М. Эмме в своей последней книге, над которой он работал, уже будучи прикованным к постели, писал:

> "Жизнь — непрерывно самосовершающийся ритмический химический процесс, свойственный протоплазме. Жизнь основана на повторяемости химических циклов. Они обеспечивают постоянство химического состава протоплазмы. Возникновение жизни связано с образованием химических систем, в которых были условия для самоповторения химических циклов. Основными и первичными ритмами живой природы явились ритмы самоудвоения и синтетической деятельности молекул ДНК".

Таким образом, ритмическая природа свойственна самой жизни.

Выяснение механизма биологических часов, конечно, зависит от прогресса биохимии, биофизики и физиологии. Вероятно, широкое распространение колебательных процессов в клетке и организме требует изменения мышления биологов самых разных специальностей. Член-корреспондент АН СССР А. А. Ляпунов в предисловии к книге А. М. Эмме отмечает, что если сравнительно недавно господствовало мнение об определяющей роли периодических химических реакций в явлении биологических часов, то сейчас создается впечатление, что основную роль в этих явлениях могут играть только некоторые периодические физические процессы. Эта точка зрения была высказана совсем недавно Р. Л. Берг на основе сопоставления данных, приводимых

Э. Бюннингом, К. Эретом и Н. Барлоу, А. М. Эмме, и результатов последних экспериментальных работ Н. Б. Христолюбовой. Несомненно одно: на пути изучения механизмов функционирования биологических часов и выявления процессов, играющих при этом управляющую роль, стоит масса интересных вопросов и предстоит еще много увлекательных открытий. Причем внешние явления, выполняющие функцию пусковых механизмов для тех или иных биологических процессов, а также наличие специфических механизмов управления ритмическими процессами представляют большой интерес с биолого-кибернетической точки зрения.

Для того чтобы уметь пользоваться биологическими часами, не обязательно знать, как они работают. Так, врач должен привыкнуть к мысли, что одни и те же терапевтические мероприятия дают различный эффект в зависимости от того, в какое время суток они проводятся, и знать, что результаты клинических анализов тоже зависят от времени.

Биологические ритмы, бесспорно, должны учитываться и в физиологии труда в связи с изучением явлений утомления и переутомления, что позволит повышать работоспособность человека. Исследованиями установлено, что частые и короткие паузы в работе дают больший эффект, чем редкие и длинные. Интересно знать также, как влияет на здоровье скользящий график бодрствования при работе в две и особенно в три смены. Ведь организм в течение суток по-разному реагирует на физические нагрузки. Наиболее "слабым" человек оказывается в 2 — 5 час и между 12 — 14 час, наиболее "сильным" — утром с 8 до 12 час и днем с 14 до 17 час.

Любому человеку необходимо знать основы рационального питания. Но работа органов пищеварения также определяется суточным ритмом: в первой половине дня печень выделяет наибольшее количество желчи, утром желудочный сок менее кислый, чем вечером. Поэтому в первой половине дня должна преобладать белковая и жирная пища, а во второй — углеводная и молочная. Недавно получены данные о том, что и процессы старения связаны с биологическими часами и некоторые люди быстро стареют из-за нарушения их нормальной работы.

Растениеводы, животноводы, пчеловоды, физиологи и биохимики должны изменить свое отношение к "постоянным" условиям — непрерывное освещение и постоянная температура отнюдь не являются нормальными условиями!

И там, где человеку удалось расшифровать "календарь" биологических часов, он добивается поразительных успехов. Расскажем о двух случаях применения таких знаний в практике

сельского хозяйства.

Знаете ли вы, что в нашей стране до недавнего времени не было промышленных сортов миндаля? Весь миндаль, который использует кондитерская и парфюмерная, хлебобулочная и фармацевтическая отрасли промышленности, мы покупаем в Иране, Италии, Алжире и других странах.

Выше мы рассказывали о том, как в 1948 г. те немногие миндальные деревья, что росли в Крыму, обманувшись чрезвычайно теплой погодой января, зацвели и впоследствии погибли от морозов. Для условий Крыма нужен был миндаль с особенно поздним цветением. И вот советский ученый, селекционер Александр Андреевич Рихтер решил разгадать механизм биологических часов миндаля, определяющий время его цветения. Таблицы температур — максимальных, минимальных, среднесуточных — по бесчисленным пунктам Крыма лежали на его столе. Процесс расшифровки календаря миндального дерева был не менее сложным делом, чем расшифровка письменности древних.

И что же оказалось? Растение ведет счет теплых дней еще осенью, с того самого момента, когда среднесуточная температура опустится ниже +18° Ц. Еще и еще накапливаются положительные температуры.

И когда их сумма переваливает за 1170 "градусо-дней", миндаль зацветает. Расшифровка этих закономерностей объяснила, как подходить к селекции новых сортов миндаля для посадки в тех или иных районах Юга. Теперь будет у нас свой советский миндаль, уже заложены новые 1800 гектаров миндальных садов новых пород, выведенных А. А. Рихтером благодаря знанию механизма биологических часов миндаля.

И второй рассказ о том, как ученые научились регулировать биологические часы развития трихограммы.

Трихограмма, воин-универсал, поражает много разных вредителей, в их числе капустницу, плодожорку, совку-гамму и других опасных для сельскохозяйственных культур насекомых, плодящихся быстро и в больших количествах.

Ученые заметили, что трихограмма выводит потомство, откладывая свои яички в яйца капустницы, совки-гаммы, плодожорки и других вредителей полей.

Из таких яиц вылетают новые трихограммы, и повторяется та же история. Но это случается лишь, когда трихограмма синхронно развивается со своей жертвой.

Так нельзя ли, создавая искусственно синхронность, выращивать трихограмму к тому дню, когда капустница, совка-гамма или другой вредитель сельского хозяйства кладет яйца?

Оказывается, можно. Ученые заметили, что длительность цикла развития трихограммы зависит от температуры воздуха. При 30° Ц трихограмма вылетает из яйца через 8 дней, при 12° Ц — почти через два месяца. Следовательно, регулируя температуру в термостате, можно вырастить трихограмму к нужному сроку.

В лаборатории сперва размножают вредителя — зерновую моль, а на ее яйцах — трихограмму. Она и дает массовое потомство, которое выращивают при определенной температуре, чтобы оно вышло к заданному дню.

Недалеко от Казани находится Татарская биологическая лаборатория Министерства сельского хозяйства РСФСР, ежегодно выпускающая на поля 450 миллионов трихограмм, которым суждено потрудиться в сельском хозяйстве.

Проблема биологических часов имеет еще ряд других "прикладных" аспектов. Ориентация по звездам и Солнцу, синхронизация внутренней периодичности с приливным режимом, изменение периодичности под влиянием искусственных световых циклов и т. п. — все это ставит ряд вопросов о природе восприятия этих внешних указателей, о природе рецепторов, механизме памяти и т. д., составляющих предмет бионики. Изучение биологических часов необходимо и для космической медицины. Многие специалисты в области изучения мозга обеспокоены тем, что длительное пребывание в состоянии невесомости может нарушить циркадный ритм, отчего серьезно пострадают мозг и нервная система. Инженерам придется подумать о том, как создать для космонавтов искусственные день и ночь.

И, наконец, проблема биологических часов обернулась еще одной неожиданной стороной — речь идет о раке, той самой болезни, которая по своей распространенности вышла на одно из первых (после сердечнососудистых заболеваний) мест среди других тяжелых болезней, поражающих человечество. Этой проблемой занимается Всемирная организация здравоохранения, проводятся онкологические конгрессы, ей посвящены многочисленные специальные руководства, монографии, периодические издания. Конечно, все это не могло не привести к определенным успехам в понимании процессов возникновения злокачественных опухолей и методов борьбы с ними. И все же у людей возникает вопрос: реальна ли борьба со злокачественными новообразованиями, о причинах возникновения и особенностях развития которых медицина знает еще так мало?

А может быть, именно опыты Жаннет Харкер и проливают свет на механизм возникновения рака?

Эксперименты были проведены так. Подопытным тараканам пересадили подглоточный ганглий, взятый у других тараканов, биологические часы которых отличались на 12 час от собственных биологических часов подопытных. Теперь ритм жизнедеятельности тараканов регулировался двумя различными механизмами — своими часами и чужими. Практически во всех таких случаях у тараканов развились опухоли в области средней кишки (желудка). Образующиеся опухоли могут быть пересажены и дают метастазы! Их рост до некоторой степени контролируется регулированием времени выделения гормона подглоточным ганглием, этими биологическими часами таракана. Любопытно, что у контрольных насекомых, которым пересадили часы, идущие синхронно с их собственными, никаких опухолей не было. Видимо, дело не в количестве гормонов, а в том, сколько их выделяется в кровь в тот или иной момент времени.

Таким образом, описанный опыт показал, что несогласованный ход биологических часов в организме может привести к гибельным последствиям. Это, несомненно, большое и важное открытие, если учесть, что механизм биологических часов у таракана работает примерно по тому же принципу, что у всех" животных и человека.

Пока ученые ведут всестороннее исследование биологических часов, мы все же можем заглянуть вперед и помечтать о том времени, когда тайна их будет до конца раскрыта. Мечты, фантазия, особенно если они зарождаются на реальной основе, полезны. Знание механизма биологических ритмов и возможность управления ими открывают человеку неограниченные возможности. Ведь, учащая биологические ритмы, можно ускорить вызревание сельскохозяйственных культур.

Познав механизм биологических часов, человек сможет, вероятно, регулировать их ход, а следовательно, победить многие болезни, и кто знает, может быть, в числе этих побежденных болезней окажется и ныне зловещий рак.

Возьмем, к примеру, гипотезу американского ученого Рихтера. Он высказал предположение, что большое количество биологических часов, имеющихся в организме человека, идут не в фазе друг с другом, но синхронно. Вирусы или микробы, переутомление, психические травмы эту синхронность в определенных условиях нарушают, и различные часы начинают идти в одной фазе. В связи с этим изменяется привычный гормональный ритм, что вызывает в организме различного рода расстройства.

В настоящее время трудно доказать, прав Рихтер или нет. Но вполне возможно, что придет время, когда врачи смогут,

искусственно регулируя ход биологических часов человека, лечить и даже предупреждать болезни в нашем организме, отодвигать старость и продлевать молодость.

Беседа шестая. Живые локаторы

В Южной Америке обитает птица, которую местные жители называют гвачаро. Живет она, с точки зрения человека, предельно скучно. Всей роскоши тропической природы, всему разнообразию ее ярких красок, свету Солнца она предпочитает сырую тьму пещер. Здесь она отлично приспособилась к жизни, летает в кромешной тьме, находит себе пищу. Во всем ей помогает эхо. Летая в темноте, гвачаро периодически издает резкие и отрывистые крики высокого тона с частотой около 7000 гц. После каждого крика птица улавливает его отражение от препятствий. По направлению, в котором приходит эхо, птица узнает о том, где именно находится препятствие, а время, прошедшее между посылкой сигнала и возвращением эха, указывает ей расстояние до препятствия.

Таким образом, руководствуясь только эхом, гвачаро прекрасно ориентируется в темноте. Вполне естественно, что и все органы птицы приспособлены к такой ориентировке в пространстве. Она молниеносно "переводит" время между посылкой сигнала и его возвращением в расстояние и безошибочно, с большой точностью определяет направление, откуда донесся отраженный сигнал.

В последние годы было установлено, что эхолокаторами природа наделила не только гвачаро. Это "шестое" чувство очень широко распространено в мире животных. Так, например, кулики, козодои и некоторые певчие птицы, застигнутые в полете туманом или темнотой, "ощупывают" своим криком землю. Прислушиваясь к эху, они узнают о высоте полета, о препятствиях на пути. Сориентируются путем эхолокации и насекомые, морские свинки, крысы, сумчатые летяги и даже обезьяны.

Давайте же, читатель, вместе пройдемся по лабораториям старейшего в мире "локационного института" природы, заглянем в его "мастерские", патентную библиотеку, конструкторские бюро и выясним, что можно здесь позаимствовать для дальнейшего развития локационной техники, созданной за последние 25 — 30 лет учеными и инженерами.

Длительное время казалась весьма загадочной способность летучих мышей летать в абсолютной темноте, их виртуозное умение ловить на ходу между деревьями, между их мелкими ветвями крохотных комаров, бабочек, жуков, поденок и других насекомых, не натыкаясь на встречные препятствия. В 1793 г. выдающийся итальянский натуралист Ладзаро Спалланцани проделал такой опыт: ослепил небольшого нетопыря и выпустил

его в темную лабораторию. Результат эксперимента оказался поразительным — ослепленная летучая мышь летала по комнате так же свободно, как и зрячая, не задевая ни одного из хитро расставленных в лаборатории предметов. Через некоторое время ученый лишил зрения нескольких летучих мышей и выпустил их на волю. Желая выяснить, сохранили ли они способность продолжать свою обычную жизнь, Спалланцани на пятый день взобрался на верхушку колокольни собора в Павии (где жили ранее подопытные животные), поймал четырех ослепленных им нетопырей и произвел их вскрытие. При этом было установлено, что слепота ничуть не мешала им на лету настигать добычу — желудки ослепленных летучих мышей были набиты остатками насекомых так же туго, как и у зрячих экземпляров.

Значит, шестое чувство помогает нетопырям хорошо ориентироваться и маневрировать в темноте, обнаруживать и ловить без промаха в воздухе насекомых! — заключил Спалланцани.

Опыты Спалланцани повторил один швейцарский биолог. Эксперименты убедили его, что слепые животные летают не хуже зрячих. Но когда он тампоном из ваты заткнул им уши, то летучие мыши стали натыкаться на все встречавшиеся в полете преграды.

Узнав об экспериментах своего швейцарского коллеги, Ладзаро Спалланцани решил проверить их. Многочисленными опытами, отличавшимися ювелирной тонкостью, большой изобретательностью и разнообразием, Спалланцани незадолго до своей смерти твердо установил, что нарушение деятельности таких органов чувств, как зрение, осязание, обоняние и вкус, никакого влияния на полет летучих мышей не оказывает. Лишь при закрытии рта или ушей они теряют способность к ориентации. Однако эти важнейшие открытия, сделанные на рубеже XVIII и XIX веков, не были поняты современниками ученого; более того, они были высмеяны, отвергнуты, а затем почти совсем забыты. Досужие критики выдвинули получившую широкое распространение гипотезу, согласно которой летучие мыши обладают неким тонким чувством осязания, органы которого, вероятно, расположены в перепонках крыльев, благодаря чему они и обнаруживают препятствия на расстоянии и избегают столкновений с ними.

Полтора века спустя решением так называемой "спалланцаниевой проблемы летучих мышей" занялись три американца — Г. Пирс, Д. Гриффин и Р. Га-ламбос. Экспериментируя с летучими мышами, они плотно закупоривали им воском рот или нос. И в том и в другом случае выпущенные в

темноту комнаты летучие мыши совершенно теряли способность обнаруживать как большие, так и малые предметы, натыкались на стены и на любые другие препятствия, расставленные на пути их полета.

Теперь главный секрет ориентации летучих мышей можно считать раскрытым — они обладают поразительными по своему совершенству органами ультразвуковой локации! — заявили ученые. И действительно, точная электронная аппаратура позволила исследователям установить, что летучие мыши испускают неслышимые для человека ультразвуки и воспринимают их эхо, которое в полной темноте предупреждает о препятствиях или близкой добыче. С помощью ультразвуковых волн летучая мышь как бы ощупывает окружающее пространство. Своеобразный локатор помогает ей не только определять направление и расстояние до предметов, но и различать их между собой.

Изумительное мастерство в использовании ультразвуковых волн для получения сложных сведений об окружающем пространстве летучие мыши, разумеется, приобрели не сразу. Они обрели его в процессе длительной эволюции и прежде всего потому, что звук является удобным, если не единственным, способом ориентировки в тех условиях, в которых им приходится жить и перемещаться.

Каковы же конструкция и режим работы природного локатора летучей мыши?

Оказывается, ее гортань устроена наподобие обычного свистка. Через этот "свисток" мохнатый зверек выдыхает из легких воздух с такой силой, что наружу он вырывается, словно выброшенный взрывом. Вихрем проносясь через гортань, воздух рождает звук очень высокой частоты — от 50 до 100 кгц. Летучая мышь летает с открытой пастью, которая служит рупором для испускаемых ею ультразвуковых сигналов, а рупор, как известно, заставляет звуковое излучение распространяться преимущественно в одном направлении, в данном случае — в направлении полета.

Вполне естественно, что для целей локации летучие мыши используют ультразвук, а не низкочастотные колебания, воспринимаемые человеческим ухом. Дело здесь в том, что размеры предметов, которые еще удается обнаружить с помощью эхолокации, зависят от длины звуковой волны. От предмета, линейные размеры которого значительно больше длины волны, звук, собранный рупором в пучок, отражается примерно так же, как световой луч, падающий на зеркальную поверхность. В этом случае эхо, улавливаемое ушами летучей мыши, получается

сильным: зверек хорошо "слышит" предмет.

Если размеры отражающего объекта равны или меньше длины волны, наблюдаются вторичные, дифрагированные волны, распространяющиеся во всех направлениях от малого объекта. Энергия отраженной таким образом волны, улавливаемая ушной раковиной летучей мыши, становится значительно меньше, и, следовательно, различить малый предмет оказывается гораздо сложнее.

Аналогичным условиям должен удовлетворять рупор для собирания излучения в узкий пучок: когда длина звуковой волны больше диаметра устья рупора, то звук фокусируется очень слабо или совсем не фокусируется. Локатор летучей мыши, работающий на частоте 100 кгц, излучает ультразвуковые волны длиной в 3,3 мм, которые ей очень легко сфокусировать открытой пастью. Эксперименты Д. Гриффина показывают, что чувствительность "приемника" локатора летучей мыши — ее ушей — настолько высока, что позволяет животному обнаруживать ячейки в металлической сетке из натянутых параллельно друг другу проволок диаметром 0,12 мм. Расстояние между проволоками в опытах составляло 30 см, т. е. немного превышало размах крыльев летучей мыши; тем не менее зверьки пролетали сквозь сетку, не задевая ее, до тех пор, пока диаметр проволок не становился меньше 0,12 мм.

В 1946 г. советский ученый Е. Я. Пумпер высказал очень интересное предположение, хорошо объяснявшее физиологическую природу эхолокации летучих мышей. По его гипотезе, летучая мышь издает каждый последующий ультразвуковой импульс сразу же после того, как воспринимает эхо предыдущего. Принятый после отражения сигнал является раздражителем, вызывающим посылку следующего зондирующего импульса. Таким образом, быстрые изменения обстановки, близость препятствия, необходимость схватить порхающую под носом бабочку вызывают быстрое нарастание частоты следования импульсов.

И действительно, в дальнейшем эксперименты показали, что летучая мышь перед стартом издает в секунду лишь 5 — 10 сигналов. В полете по прямой не слишком близко от непосредственно интересующих его объектов зверек учащает подачу ультразвуковых импульсов до 20 — 30 в секунду. Однако, как только он приближается к препятствию, число сигналов резко возрастает. В течение короткого времени во время охоты на ночных насекомых летучая мышь, настигая добычу, издает до 250 сигналов в секунду.

Интересно, что чувствительный "приемник" летучей мыши —

ее уши — "выключается" на то время, в течение которого она "выдыхает" ультразвуковой импульс. При крике внутреннее ухо летучей мыши закрывается и вновь открывается, чтобы зафиксировать отраженный сигнал. Вероятно, чуткие уши животного могут повреждаться "ультразвуковым грохотом"[5], который производит его передатчик — гортань. Человек, знакомый с техникой радиолокации, обратит внимание на это обстоятельство — ведь закрывающееся среднее ухо представляет собой не что иное, как биологический эквивалент антенного переключателя. Это устройство отключает приемник радиолокатора на время излучения антенной мощного зондирующего импульса, который может мгновенно вывести приемник из строя. Природа, конструировавшая локатор летучей мыши, решила проблему защиты приемника просто и эффективно — ей не понадобились ни четвертьволновые линии, ни разрядники. Безопасность ушей гарантируется совершенством избранной ею механической конструкции: при максимальной частоте следования зондирующих импульсов, равной 250 гц, заслонка в ухе летучей мыши успевает открываться и закрываться 500 раз в секунду. При этом открывание заслонки должно длиться менее 1 мсек. Менее потому, что, как показали исследования, длительность самих импульсов при такой частоте их повторения составляет около 1 мсек.

Эта характеристика излучения — длительность импульсов — определяет точность эхолокации и, стало быть, способность летучей мыши ориентироваться в полете. Чем короче импульсы, тем шире возможности "мышиного локатора".

В самом деле, для того чтобы при помощи эха можно было определять расстояние до предмета, интервалы между импульсами должны превышать то время, в течение которого звук должен долететь до предмета и вернуться обратно. Если они оказываются короче этого времени, то обнаружение предмета становится весьма затруднительным. Вот пример. За 1 мсек (считая от начала импульса) звук успевает "пробежать" 33 см. Это значит, что уже через 1 мсек в приемник начнет поступать сигнал, отразившийся от предмета, который находится на расстоянии 16,5 см от пасти зверька. Если звуковая посылка длится более 1 мсек, то эхо от предметов, расположенных ближе 16 см, будет заглушаться основным, зондирующим импульсом; если же принять во внимание, что на время посылки импульса уши животного "выключаются", то станет ясно, что летучая мышь попросту не сможет "поймать" начало отраженного импульса. А ведь промежуток времени между началом посылки импульса и началом приема отраженного импульса позволяет достоверно

определять расстояние до ближайшей "цели". Поэтому для успешного определения положения близких целей импульсы должны иметь минимально возможную длительность (1 мсек), а переключение локатора "на прием" должно осуществляться за время, меньшее длительности импульса (менее 1 мсек).

Таковы условия оптимальной работы и "тактико-технические данные" эхолокатора. Отсюда следует, что летучие мыши не могут определять положение насекомых или препятствий, которые находятся ближе 16 см, и, стало быть, должны или умереть голодной смертью, или разбиться в первом же полете. С ними действительно иногда происходят несчастные случаи, имеющие разные по степени тяжести последствия. Натуралисты знают, например, что если у входа в убежище нетопырей положить камень побольше, то они будут регулярно разбивать об него свои носы. Описаны также столкновения (со смертельными исходами) двух летучих мышей, занятых охотой. Эти наблюдения было трудно объяснить. Ведь всем известно, как летучие мыши охотятся за насекомыми. Гоняясь за своей ускользающей добычей, они маневрируют, проделывая мгновенные повороты и другие акробатические трюки, и в конце концов ловят на лету порхающих в неправильном полете мелких ночных бабочек, летающих жуков, поденок и комаров. Летучие мыши с исправными локаторами всегда сыты и доживают до глубокой старости. А несчастные случаи? Бывают. Но только тогда, когда локатор не работает. Недавно было установлено, что при приземлении летучие мыши почти не пользуются локатором, так как они уверены, что опускаются в нужное место. Потому они натыкаются при возвращении в гнездо на камень у входа, которого не было при их вылете. По той же причине происходят их столкновения в воздухе во время охоты: когда летучая мышь хватает свою жертву, она лишается возможности пользоваться локатором. Если пережевыванием заняты одновременно две летучие мыши, локаторы которых в это время не работают, а скорость полета составляет 4 м/сек, то вполне понятно, что возникает некоторая опасность столкновения.

Ну, а как обстоит дело с определением положения и преследованием целей, расстояние до которых не превышает 16 см? Ведь летучая мышь гонится за насекомым до тех пор, пока ей не удастся его поймать, причем от момента обнаружения и до момента "поражения цели" преследование имеет активный характер: в каждый момент времени летучая мышь знает, где находится жертва и в соответствии с этим изменяет направление своего полета. Значит, локатор летучей мыши оказывается эффективным вплоть до того момента, когда она настигает и

хватает добычу.

Работа локатора летучей мыши в режиме обнаружения и сопровождения близких целей до сих пор не вполне ясна. Предполагают, что способность летучей мыши "видеть" то, что делается у нее под носом, связана с частотной модуляцией зондирующих импульсов ее локатора. Каждый импульс начинается с очень высокой частоты, а заканчивается на вдвое меньшей (падает на целую октаву). Нетопыри, например, начинают импульс с частоты около 100 кгц и заканчивают его на частоте 45 кгц. При длительности сигнала в 1 мсек изменение частоты оказывается очень быстрым. За этот короткий промежуток времени звук пробегает диапазон, вдвое превышающий область слышимых человеком частот.

Когда летучая мышь настигает добычу или приближается к препятствию, энергия испускаемых ею зондирующих сигналов уменьшается и при расстояниях, меньших 16 см, вероятно, становится безопасной для приемника. Если предположить, что после достижения безопасного уровня и вплоть до момента поимки добычи уши летучей мыши перестают "отключаться" на время работы передатчика, то становится понятной эффективность работы локатора на близких расстояниях. В самом деле, пусть частота испускаемого летучей мышью крика убывает пропорционально времени (от момента начала крика). Тогда, если за 1 мсек частота линейно падает от 100 до 45 кгц, то скорость ее убывания составляет 5 кгц/мсек. Отсюда следует, что, например, через 0,1 мсек после начала импульса его частота составляет уже не 100, а 94,5 кгц. К этому же времени приемник летучей мыши ловит отразившийся от цели импульс с начальной частотой 100 кгц. Таким образом, в этот момент на звуковой анализатор животного одновременно действует сильный сигнал с частотой 94,5 кгц (зондирующий импульс) и сравнительно слабый сигнал с частотой 100 кгц (импульс, отразившийся от цели). По-видимому, летучая мышь способна выделить из шума, создаваемого работающим передатчиком, слабый полезный сигнал с частотой 100 кгц; по задержке этого сигнала относительно начала зондирующего импульса и определяется расстояние до "цели". В данном случае при задержке 0,1 мсек цель, как легко сообразить, находится на расстоянии 1,6 см от уха животного. Этот локатор успешно справляется не только с помехами от собственного передатчика. Гоняясь за насекомыми, летучие мыши воспринимают более сложную "смесь" звуков, чем исходный сигнал и одиночное эхо от данного насекомого. В эту "смесь" входит эхо от всех объектов, расположенных на расстоянии в несколько метров: от поверхности земли, от стен

пещеры, от каждого куста, ветки, листа, травинки. Многие объекты дают лишь слабое эхо, но ведь и эхо от насекомого тоже имеет малую интенсивность, и если летучая мышь его слышит, то она должна также воспринимать и все остальные эхо. Кроме того, как известно, летучие мыши почти никогда не охотятся в одиночку. Так, например, в Бракенской пещере, расположенной на юге США, обитает свыше 20 000 000 летучих мышей. Каждый вечер это огромное количество рукокрылых покидает свое убежище, чтобы снова вернуться в него утром. Во время охоты за ночными насекомыми у всех летучих мышей работают локаторы. При этом зверьки не сталкиваются и не мешают друг другу. Понятно, что в таких условиях задача выделения полезного сигнала из ералаша звуков оказывается чрезвычайно сложной. И тем не менее нетопырям она вполне по силам. При такой сложной ультразвуковой "какофонии" каждая особь безошибочно выделяет и принимает эхо посылаемого ею ультразвукового сигнала.

Способность ушей летучей мыши "отстраиваться" от сигналов, которые не представляют для нее интереса, — свойство величайшей ценности.

Хорошо известно, что выделение полезного сигнала на фоне естественных и искусственных помех — одна из старейших и важнейших проблем техники, с которой мы сталкиваемся в очень многих ее областях. Над решением этой задачи ученые и инженеры бьются с тех пор, как начало развиваться радиовещание. Были придуманы резонансные контуры с высокой добротностью, узкополосные усилители, схемы автоматической подстройки частоты и фазы, специальные виды модуляции, обеспечивающие защиту передаваемого сигнала от помех, и т. д. Но по мере усложнения задач радиосвязи проблема каждый раз встает с прежней остротой. Несколько лет назад американские ученые начали интересный эксперимент. Была сделана попытка установления односторонней связи с братьями по разуму, которые, как предполагалось, могут пытаться сделать это на частоте, излучаемой атомами ионизированного космического водорода. Сигналы, улавливаемые приемником совершенного радиотелескопа, подавались в электронную счетную машину на предмет обнаружения в них каких-либо закономерностей, признаков передаваемой информации. Если бы они существовали, машина должна была бы их обнаружить. Но эксперимент не был доведен до конца: произведенные с некоторым опозданием расчеты показали, что приемник просто не смог бы выделить радиосигналы других миров из радиошума, создаваемого космическим водородом.

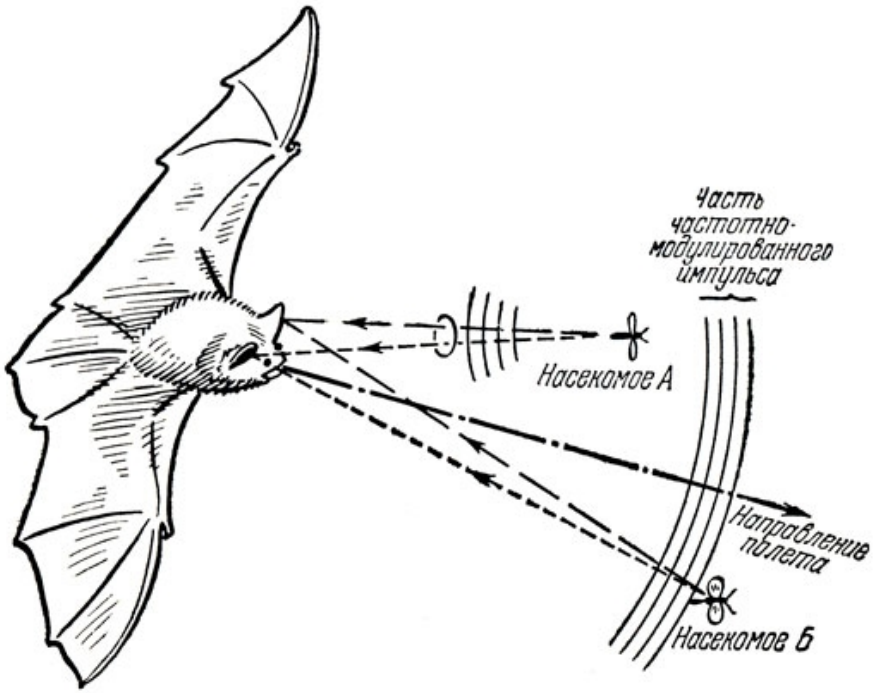


Рис. 1. Определение летучей мышью расстояния до объекта (насекомого) (по П. Т. Асташенкову)

Приемник летучей мыши хорошо выделяет из шума звуковые, а не радиосигналы. Расстояния, на которых эффективно работает такой локатор, очень малы. Но быть может, неизвестный пока принцип, обеспечивающий высочайшую избирательность приемника нетопыря, удастся использовать в устройствах сверхдальней космической связи. И уж наверное он сможет оказаться полезным при конструировании защиты от помех во многих приемных устройствах. Во всяком случае, сейчас, когда в эфире работает столько станций, порой мешающих друг другу, отличные "мышиные" принципы отбора собственных сигналов привлекают самое пристальное внимание бионików, инженеров и физиков. Предполагают, что летучим мышам удается различать эхо от нескольких предметов по величине частотного сдвига, возникающего в результате сложения непрерывно изменяющейся частоты зондирующих импульсов и частоты эха (рис. 1). Сложение излучаемых импульсов, промодулированных по частоте, и отраженных сигналов дает сигналы разностной частоты Δf, которая пропорциональна расстоянию до объекта. Длительность сигналов разностной частоты также является функцией расстояния. Эта гипотеза никак не объясняет

удивительную помехозащищенность локатора летучей мыши. А между тем известно, что ее приемник обнаруживает полезный сигнал даже в том случае, если помехи на 30 децибел (более чем в тридцать раз) превышают уровень сигнала!

Рис. 2. Тропическая летучая мышь-рыболов определяет местоположение рыбы под водой с помощью природной локационной системы

Поразительными по своему совершенству органами ультразвуковой эхолокации обладают, как установили ученые, тропические летучие мыши-рыболовы (рис. 2). Они летают у самой поверхности воды и, окуная в нее время от времени острые когти своих лапок, ухитряются ловить мелкую рыбешку. Ловя таким образом рыбу в темные ночи, эти зверьки издают ряд быстро повторяющихся сигналов, которые очень похожи на сигналы их насекомоядных родичей. Поскольку тело рыбы содержит больше 90% воды, оно почти не отражает подводные звуки, но наполненный воздухом плавательный пузырь представляет собой "непрозрачный" для звука экран. Ультразвук, пробив толщу воды, отражается от плавательного пузыря рыбешки, и его эхо возвращается к рыболову.

Может показаться, что рыбная ловля с помощью звуколокатора нисколько не сложнее или даже проще, чем охота на быстрых, беспорядочно летающих в воздухе насекомых. На самом деле это не так. Требования к локаторам у летучих мышей-

рыболов и летучих мышей-охотниц несколько отличаются друг от друга. Известно, что при падении звука под прямым углом из воздуха на поверхность воды только 0,12% его энергии распространяется в воде в виде звуковых колебаний. Остальная энергия отражается от грайицы раздела сред. Такая же малая доля энергии звуковых волн, распространяющихся в воде, проходит из воды в воздух. Это значит, что от зондирующих импульсов летучей мыши после падения на поверхность воды из воздуха, распространения в воде, отражения от рыбы и возвращения к приемнику "рыболова" остается доля, равная $(0{,}0012)^2 = 1{,}44 \cdot 10^{-6}$, т. е. эти импульсы ослабевают почти в миллион раз!

Кроме того, неизбежны и другие потери: лишь малая доля энергии звука отражается от тела рыбы, и очень незначительная ее часть после выхода из воды попадает в уши летучей мыши. Интересно отметить, что примерная оценка затухания звука при локации насекомого на расстоянии в 2 м показывает, что слуховой аппарат летучих мышей-охотниц способен воспринимать эхо столь же слабое, как и эхо при отражении от мелких рыбок, добываемых их собратьями-рыболовами.

Значит, летучая мышь судит об окружающей обстановке по отраженным сигналам своего локатора, которые иногда возвращаются к ней ослабленными во много миллионов раз. Интересно, что существует вид летучих мышей — подковоносы, — использующих для ориентировки именно этот признак отраженного сигнала (величину его ослабления), и по затуханию, а не по задержке отраженного импульса они определяют расстояния.

Таким образом, слуховой аппарат летучих мышей — это не просто анализатор, обладающий высокой чувствительностью. Органы их эхолокации настолько совершенны, что говорить просто о слухе здесь не приходится. Мы вправе говорить о качественном отличии слухового аппарата летучих мышей от соответствующих органов чувств других животных, об ультразвуковом "видении". Ведь органы звуколокации достигают наибольшего совершенства именно у тех рукокрылых, которые обладают очень плохим зрением, почти слепы, и поэтому у них совсем иное соотношение слуховых и зрительных центров. Так, например, летучую мышь не затрудняет полет в лабиринте из тонких проволочек, хотя при этом она должна иметь представление об их взаимном расположении. По существу, это и есть видение. Приспосабливая рукокрылых к ночному образу жизни, природа так "устроила" этих животных, что его раз услышать для них несравненно лучше, чем для нас, например, сто

раз увидеть.

Благодаря выполненным за последнее время работам мы можем сегодня уже говорить языком цифр о ряде важнейших технических показателей локационного аппарата летучих мышей и сравнивать их с основными параметрами аналогичных систем, созданных человеком. Путем сопоставления мы можем также установить, в чем биологическая система превосходит технические, какова ее эффективность. Правда, здесь могут возникнуть серьезные возражения против осмысленности и правомерности подобного сравнения столь разнородных систем эхолокации, различающихся по мощности (на несколько порядков), по абсолютной дальности действия и т. п. Однако в общем-то звуко-локационный аппарат летучей мыши выполняет те же функции, что и обычные технические радиолокационные устройства, и поэтому в данном случае биологическую систему можно сравнивать с инженерной почти с тем же основанием, с каким обычно специалисты сравнивают между собой технические характеристики двух радиолокаторов. И в этом отношении большой интерес, несомненно, представляет опубликованная в 1963 г. работа Л. Катрона, в которой даются вполне определенные и убедительные количественные характеристики (принятые в радиолокационной технике) для ультразвукового локационного аппарата летучей мыши. Несмотря на многие упрощения, допущенные автором этой работы при расчетах, последние показывают, что по таким важным параметрам локационной системы, как чувствительность при определении дальности и угловых координат цели, устойчивость к взаимным помехам (т. е. способность не реагировать на сигналы, испускаемые другими локационными системами, работающими в это же самое время поблизости), отношение сигнала к шуму, локационный аппарат летучей мыши более чем в 100 раз превосходит самые совершенные современные радиолокационные системы. Конкретные значения основных параметров эхолокатора летучей мыши, полученные Л. Катроном расчетным путем, приведены в табл. 1.

Расстояние до цели, *м*	Принимаемая мощность, *вт*	Отношение сигнала к шуму	Погрешность в определении расстояний, *м*	Погрешность в определении направления, градусы
3	10^{-17}	1	0,15	3,5
2,4	$2,5 \cdot 10^{-17}$	2,5	0,09	2,2
1,5	$1,6 \cdot 10^{-16}$	16	0,038	0,87
0,6	$6,3 \cdot 10^{-15}$	625	0,0061	0,14
0,3	10^{-13}	10^4	0,0015	0,035

Таблица 1

К приведенным показателям остается еще добавить следующее. Звуколокационный аппарат летучей мыши ультраминиатюрен, он весит доли грамма и имеет габариты, равные долям кубического сантиметра, а энергии расходует так мало, что ни одна из созданных человеком технических систем не может с ним сравниться. Наши же современные радиолокационные устройства весят десятки, сотни и даже тысячи килограммов, а их объем достигает сотен кубических дециметров. Локационный аппарат летучих мышей — это самовосстанавливающаяся система, которая всегда находится в рабочем, "боеспособном" состоянии; технические же локационные системы должны ремонтироваться человеком, их эксплуатационная надежность значительно ниже, чем у эхолокатора летучей мыши.

Известно, что при расчете и конструировании сложных радиотехнических устройств чрезвычайно важно правильно выбрать характеризующие работу системы показатели качества, надежности и эффективности. Это требует, разумеется, специальных исследований, и в современной технике с разработкой таких оптимальных показателей пока дело обстоит, скажем прямо, далеко не идеально. Что же касается выбора параметров для правильной оценки эффективности сложных живых систем, то нет нужды доказывать, что такая задача еще сложней, а ведь ее решение весьма важно для успешного моделирования и разработки практического варианта технического устройства.

В свете сказанного заслуживает внимания попытка Д. Гриффина найти интегральный показатель[6] эффективности локационной системы Q путем перечисления требований, предъявляемых к ней.

"От наиболее эффективной системы эхолокации, — пишет ученый, — требуется, чтобы она при наименьшем

весе W и минимальной используемой мощности P обнаруживала объекты наименьшей величины (диаметра d) на максимальных расстояниях R".

Соответствующий показатель эффективности Q должен иметь максимальное значение, а в случае "ухудшения" перечисленных факторов, характеризующих систему, — пропорционально убывать.

При таком подходе из чисто качественных соображений сразу же напрашивается формула для вычисления этого показателя:

$$Q = \frac{R}{PWd}.$$

Однако небольшое размышление показывает, что выбранное выражение необоснованно предопределило связь величин R, P, W, d; например, из этой формулы следует, что при фиксированном показателе эффективности Q дальность прямо пропорциональна мощности.

Но у всех локаторов плотность излучаемой энергии, как известно, убывает при распространении обратно пропорционально квадрату расстояния. Что же касается летучих мышей, то исследования показали: в ряде случаев можно считать, что энергия эха обратно пропорциональна четвертой степени расстояния. Последнее соображение уже, видимо, можно учесть и в выражении для Q, характеризующем локационные способности как летучих мышей, так и локаторов (от усиления зависимости по R оценка эффективности последних только повысится).

Аналогично (т. е. путем приведения к мощности P) можно проанализировать и влияние на показатель Q диаметра объекта обнаружения d. В самом деле, если размеры объекта достаточно велики по сравнению с длиною волны отраженного от него звука, то мощность эха приблизительно пропорциональна поверхности цели, т. е. d^2. Так обстоит дело с большинством радарных целей и, в частности, при локации самолетов с использованием сантиметровых волн. В случае же локации, осуществляемой летучими мышами, которые, как правило, обнаруживают объекты с размерами, меньшими длины излучаемых волн, мощность эха должна уже быть пропорциональной d^4.

Таким образом, учитывая сказанное, можно окончательно принять два вида выражений для показателя эффективности локации Q, а именно:

$$Q = \frac{R^4}{PWd^2},$$

$$Q = \frac{R^4}{FWd^4};$$

первое приблизительно соответствует условиям работы радаров, второе — условиям, характерным для летучих мышей.

В заключение, воспользовавшись полученными выражениями для Q, сравним эффективности одного из наиболее совершенных локаторов самолетного типа и эхолокационного аппарата летучих мышей (табл. 2).

	Радиолокатор системы AN/APS-10	Большая рыжая летучая мышь	Малая рыжая летучая мышь
Обнаруженная цель . . .	Самолет	Насекомое	Проволока
Диаметр цели d, *см* . . .	300	1	$1{,}8 \cdot 10^{-2}$
Дальность обнаружения R, *см*	$8 \cdot 10^6$	200	90
Вес аппаратуры W, *г* . . .	$9 \cdot 10^4$	1,0	0,5
Излучаемая мощность P, *вт*	10^4	10^{-5}	10^{-6}
K^4/FWd^2	$5{,}1 \cdot 10^{13}$	$1{,}6 \cdot 10^{14}$	$4{,}1 \cdot 10^{17}$
K^4/FWd^4	$5{,}6 \cdot 10^8$	$1{,}6 \cdot 10^{14}$	$1{,}3 \cdot 10^{21}$

Таблица 2

Простейший анализ данных, приведенных в таблице, уже говорит о том, что *летучие мыши обладают локационной системой в десятки миллионов раз более эффективной, чем локатор.* И это справедливо даже в том случае, если не учитывается, что при расчете вес локационной системы летучей мыши был принят равным 10% ее веса, тогда как вес радиолокатора составляет совершенно ничтожную долю веса самолета, на котором он установлен. А "... если подходить к данному вопросу с самой общей точки зрения, то превосходство летучих мышей и других животных становится очевидным, хотя такое сравнение и трудно выразить в количественной форме. В самом деле, летучие мыши сами поддерживают в рабочем состоянии и ремонтируют свои живые механизмы, а радиолокаторы и самолеты должен ремонтировать человек. Летучие мыши питают свои механизмы энергией за счет добычи, которую они сами ловят и переваривают. А от самолетов мы не ждем, чтобы они сами заправлялись топливом за счет ловли птиц; топливо же, накачиваемое в их баки, уже не требует никакой предварительной химической переработки. И, конечно, изготовленные человеком механизмы не размножаются".

Поистине результаты сравнения биологической и технической локационных систем не могут не вызвать у каждого

инженера, работающего в области локационной техники, заслуженного уважения к "механизму из плоти и крови, который выработался под давлением естественного отбора в процессе эволюции", и горячего желания воспроизвести его в металле для пользы человечества.

И вот первый шаг, сделанный в этом направлении. Известный французский спелеолог и исследователь рукокрылых Норберт Кастере в 1956 г. писал, что "...благодаря глубокому изучению летучих мышей удается сконструировать портативный точный прибор, построенный по принципу радара, но с применением ультразвуков, который будет компенсировать слепоту и позволит невидящим легко и без всякого риска избегать самые разнообразные препятствия". Прошло десять лет, и профессор Кентерберийского университета Новой Зеландии Л. Кэй разработал конструкцию радара-поводыря, который откроет слепым окно в окружающий их мир.

Этот прибор, названный "зонаром" (от слова зондировать), посылает в окружающую среду ультразвуковые импульсы, подобные тем, которые испускает летучая мышь. Возвращающееся эхо накладывается на посылаемые импульсы и создает "биения" звука, воспринимаемые человеком через наушники. Высота звука указывает на расстояние до предметов.

Трудно быстро передвигаться в темной комнате, освещаемой лишь узким пучком света карманного фонарика. Так же трудно ориентироваться и с "ультразвуковым фонарем". Тот, кто будет пользоваться этим прибором, должен научиться различать качество эха от различных предметов (от изгороди, стены и т. п.), а также "аккорды", звучащие, когда пучок одновременно отражается от двух различных предметов.

Этот прибор довольно сложен, и для его эффективного использования необходима длительная практика. Поэтому вызывает большой интерес следующая ступень развития приборов "звукового видения" — ультразвуковые очки, призванные, по замыслу их создателя профессора Кэя, заменить узкий пучок звука широким "освещением" окружающих предметов. На предметы посылается широкий поток ультразвука от передатчика, вмонтированного в переднюю часть очков. Приемники-микрофоны, находящиеся по обеим сторонам головы, улавливают эхо. По разнице в степени громкости, высоте звука и времени поступления сигналов, воспринимаемых каждым ухом, можно установить местонахождение источника эха в пространстве.

У человека, потерявшего зрение, всегда сильнее обычного развиваются другие органы чувств. Обостряется, в частности, слух. Учитывая это, автор нового прибора полагает, что с

помощью последнего у слепого человека быстро разовьется представление об окружающих его предметах как источниках характерного звука и он сможет "видеть" звуковую картину окружающей обстановки.

Облегчение людям, полностью утратившим зрение, принесет недавно разработанный в нашей стране портативный ультразвуковой эхолокатор "Ориентир". В основе прибора лежит принцип ориентации, заимствованный у летучей мыши. Прибор "выбрасывает" тонкий ультразвуковой луч, который отражается от встречающихся на пути предметов, и человек узнает о препятствиях по частоте и тональности звука, поступающего через микроминиатюрный приемник.

Ультразвуковая локация для человека — дело сравнительно новое. А если говорить о живых ультразвуковых локаторах, созданных природой, то их изучением мы, в сущности, по-настоящему, глубоко, во всеоружии современной науки и экспериментальной техники начали заниматься совсем недавно. Однако первые успехи, достигнутые в моделировании радара летучих мышей, уже сегодня открывают интересные перспективы использования таких локаторов в качестве чувствительных элементов различных технических систем во многих областях производства, в частности в автоматах по сортировке и отбраковке миниатюрных деталей на конвейере, для регистрации и счета элементов, особенно в тех случаях, когда работу требуется производить в абсолютной темноте, и т. п. Американские же специалисты по авиации полагают, что тщательное изучение принципов устройства и функций локатора летучей мыши-рыболова позволит создать эффективную систему розыска и уничтожения подводных лодок.

Большим вниманием ученых-бионików, специалистов по радиолокации, ныне окружены не только летучие мыши, но и дельфины.

Науке известны 50 видов дельфинов. Они населяют все океаны и некоторые реки. Эти млекопитающие, по виду очень похожие на рыб, считались в Древней Греции священными животными. О них сложили немало легенд. Однако еще лет десять назад мы о них мало знали, равнодушно относились к промыслу дельфинов и не задумывались над тем, сколько их осталось в морях и океанах. Только биологи проявляли определенный интерес к дельфинам, да и то с целью определить место этих млекопитающих в животном царстве. Сейчас положение резко изменилось. Дельфины, как говорят, "вошли в моду". О них рассказывают самые невероятные истории, и порой трудно бывает отличить легенды от фактов. Они, оказывается,

умеют ходить на хвосте, отлично прыгают, могут играть в баскетбол, проскакивать в горящий обруч, тянуть за собой лодку, спасают потерпевших кораблекрушение, носят детей на спине, отзываются, когда их кличут длительное время одним именем, выпущенные на несколько суток в открытое море, они снова возвращаются в океанариумы, повинуясь акустическому сигналу. Дельфины очень любят музыку. Еще греческий поэт Пиндар (522 — 422 гг. до н. э.) писал, что дельфинов привлекают звуки флейты или лиры, а римский ученый и писатель Плиний Старший (23 — 79 гг. н. э.) в своей тридцатисемитомной "Естественной истории" отметил, что дельфины любят пение и особенно звуки водного органа. Заслышав приятные мелодии, они довольно часто подплывают к судам, но стоит им услышать атональные сумбурные звуки, и они немедленно исчезают. 23 мая 1963 г. ТАСС передал для газеты "Известия" следующее любопытное сообщение под заголовком "Дельфины и джаз". Теплоход "Ковель" находился в Красном море. Радист включил судовую трансляцию, и из репродукторов полились звуки вальса. Около двадцати минут, пока над волнами звучала приятная мелодия, дельфины, неравнодушные к музыке, плыли совсем рядом. Но вот из репродуктора раздались резкие звуки; среди магнитофонных записей на пленке оказалась музыка западного джаза. И дельфины, словно по команде, умчались в сторону...

Рыбаки не раз рассказывали, что пойманный дельфин проявляет по отношению к человеку исключительный, необъяснимый интерес и никогда на него не нападает. Даже если его ранят, если ему причиняют боль (иногда это приходится делать в интересах науки), он никогда не кусает человека, тогда как даже акулы остерегаются его страшных челюстей. Создается впечатление, что человек для дельфинов неприкосновенен. В их круглых и умных глазах всегда светится бесконечное желание быть полезным человеку, стремление сотрудничать с ним. О том, как дельфины идут навстречу желаниям человека и стремятся сотрудничать с ним, имеется множество интересных фактов. Из них мы приведем лишь два, непосредственно относящихся к проблеме, о которой речь будет идти ниже. Начнем с Джека из Пелореса — дельфина, о котором в прошлые годы писала наша и зарубежная печать.

Он был самым выдающимся спасателем за всю историю мореплавания. На его счету десятки тысяч спасенных людей, сотни кораблей и на многие миллионы долларов сбереженного имущества. Он был непревзойденным пловцом и выдающимся лоцманом. Однако, несмотря на свою мировую известность, он не умел читать и писать. И никогда не слышал о существовании

денег.

Вероятно, поэтому он работал бесплатно. Его так и звали: бесплатный лоцман.

Он выходил на работу, на которую сам себя назначил, ежедневно, в любую погоду, и много лет проводил суда через опасные воды, не потеряв за это время ни одного корабля!

Его все звали Джеком из Пелореса, хотя он был всего лишь дельфином...

Недалеко от Новой Зеландии есть пролив Френч Пасс с быстрым течением. Он начинается у островов Д'Юрвиль и Пелорес Саунд и доходит до Тасманского залива. Это короткий, но очень опасный пролив, изобилующий предательскими течениями и острыми подводными скалами. У пролива была плохая слава, пока не появился Джек. Благодаря ему пролив на 23 года стал безопасным.

Первой познакомилась с этим замечательным дельфином шхуна "Бриднель" из Бостона. Произошло это в один из штормовых дней 1888 г. Шхуна шла с грузом машин и обуви в Сидней. И тут команда заметила перед носом корабля большого серо-синего дельфина, резвящегося, словно щенок.

Сначала матросы по ошибке приняли его за молодого кита и хотели было загарпунить его, но жена капитана отговорила их. Пробираясь сквозь туман и дождь вслед за играющим дельфином, корабль благополучно прошел через опасный пролив.

Так началась удивительная карьера Джека. С тех пор он всегда околачивался в этом районе, ожидая проходящие корабли, чтобы провести их через пролив. Скоро он получил свое имя и быстро стал известен среди моряков во всем мире.

Джек встречал корабли, первым приветствуя их прыжками. Моряки и пассажиры выискивали его в воде и встречали его появление аплодисментами и радостными криками. С тех пор, как Джек заступил на свою вахту, в водах пролива Френч Пасс не было кораблекрушений.

Джек обычно плыл недалеко от корабля, время от времени ныряя под него, чтобы вынырнуть у противоположного борта, словно сторожевая собака, загоняющая овцу в стадо. А когда корабль подходил к пенящимся водам пролива Френч Пасс, Джек вырывался вперед и оставался перед форштевнем корабля на виду у рулевого, пока судно не преодолевало опасную зону.

В 1903 г. пьяный пассажир с корабля "Пингвин" выстрелил в Джека из пистолета. Команда корабля решила линчевать этого пассажира, и капитану пришлось приложить немало усилий, чтобы уговорить матросов отказаться от своего решения. В течение двух недель Джек не являлся на "службу", и все решили,

что он убит, но однажды ясным утром бесплатный лоцман из пролива Френч Пасс появился снова.

Муниципалитет Веллингтона принял постановление, защищавшее Джека от покушений на его жизнь и здоровье. Этот закон моряки выполняли с особым удовольствием.

После случая с "Пингвином" Джек никогда больше не выходил встречать этот корабль — единственное судно, которому он отказывал в помощи. Моряки перестали наниматься на это судно, утверждая, что "Пингвин" проклят. И в конце концов корабль, доверенный человеку-лоцману, наскочил на скалы и затонул.

Джек был верен добровольно взятой на себя миссии, но он становился стар. После своей первой встречи с кораблем "Бриднель" Джек неизменно оставался на своем посту до апреля 1911 г., после чего пропал так же неожиданно, как и появился...

Другой дельфин по имени Туффи, участвовавший в специальных опытах "Человек и море", которые проводили военно-морские силы США в 1965 г. в Тихом океане у берегов Калифорнии (об этом эксперименте мы подробно расскажем в беседе "Покорение голубого континента"), заставил писать о себе почти все журналы и газеты мира. В этих опытах Туффи (дельфин весом 120 кг и длиной 2 м) исполнял обязанности связного между людьми, находившимися на поверхности океана, на судне "Беркон", и гидронавтами, которые 15 дней жили под водой в батискафе на глубине 62,5 м. На его обязанности лежала также охрана подводной лаборатории от нападения акул (дельфин — единственное морское животное, которого боятся акулы); кроме того, если бы кому-нибудь из гидронавтов грозила опасность, дельфин должен был его как можно быстрее доставить на спасательное судно. Каждый день Туффи доставляли на вертолете к месту эксперимента. Здесь на него надевали специальную упряжку, заканчивающуюся шнуром (за который могли ухватиться попавшие в опасное положение гидронавты), и спускали в воду. Ежедневно дельфин совершал около двадцати прогулок между судном "Беркон" и подводной лабораторией "Силэб-II". Каждое погружение на глубину 62,5 м занимало у него 45 сек. Туффи неоднократно доставлял с судна на батискаф и с батискафа на судно корреспонденцию в водонепроницаемой упаковке, подносил исследователям необходимые инструменты, а когда один из них сделал вид, будто сбился с пути в непрозрачной воде, Туффи подплыл к нему и проводил его к подводной базе. Добросовестным выполнением всех возложенных на него обязанностей Туффи снискал себе глубокое уважение гидронавтов. По сообщениям американской печати, в дальнейших

глубоководных экспериментах будут участвовать новые Туффи...

Однако нынешний повышенный интерес ученых к дельфинам продиктован не столько запоздалым желанием отдать дань уважения их уму, понятливости, добродушию и любви к человеческому роду (чему, кстати, уже воздано должное воздвигнутыми памятниками дельфину Джеку на одной из набережных Веллингтона и дельфину Бобо в австралийском городе Брисбене), сколько стремлением как можно быстрее познать устройство и принцип действия гидролокатора, которым так щедро одарила природа этих животных и которым столь успешно пользовались Джек из Пелореса и Туффи, выполняя лоцманские и другие обязанности. Гидролокатор дельфина настолько совершенен, что не может не вызвать самой большой зависти у любого инженера, работающего в области гидролокационной техники.

В отличие от рукокрылых, локационные способности дельфинов были обнаружены сравнительно недавно, лет двадцать назад. Все началось с того, что было замечено — ночью в мутной воде дельфины обходят сети. Было также обнаружено, что дельфины свободно находят куски рыбы, помещенные в водоем, в самые темные ночи бесшумно и на большой скорости обходят установленные в бассейне препятствия. Невольно возник вопрос: не обладают ли они способностью посылать звук и нет ли у них приемного аппарата, подобного аппарату летучих мышей, позволяющему этим зверькам безопасно летать в темноте?

Первые опыты по изучению методов и способов ориентации дельфинов под водой были поставлены в Америке в местечке Вудс-Холл биологами Шевиллом и Лоренсом. Работы велись с самцом афалиной, помещенным в небольшой мутный водоем размером 90 X 20 м. Посторонние звуки не мешали проведению эксперимента, а для надежного исключения участия зрительного анализатора опыты проводились ночью. В водоеме не было другой пищи, кроме той, которую давали афалине исследователи. Бросаемая экспериментаторами в воду рыба моментально обнаруживалась и поедалась голодным животным. На всплеск воды дельфин бросался очень точно — при расстоянии до всплеска в 20 м он ошибался лишь на несколько сантиметров.

Но ученые хотели знать, как дельфин находит предметы, появление которых не сопровождается звуками. Для выяснения этого вопроса подопытное животное обучили распознавать сигнал кормления: дельфин получал рыбу после удара о железную трубу или посылки ультразвукового сигнала прибором, находящимся возле кормовой площадки. После закрепления такого условного рефлекса опыты начали усложнять: экспериментаторы подавали

сигнал, но рыбу в воду не клали или подкладывали ее, когда дельфин не ожидал этого. В первом случае дельфин подплывал к лодке (она служила кормовой площадкой) и, не обнаружив рыбы, проплывал мимо. Во втором случае, когда рыбу опускали в воду очень тихо, без предварительного сигнала, дельфин обнаруживал ее сам, но не при помощи зрения. При своих поисках в темноте он издавал слабые поскрипывающие звуки, которые хорошо прослушивались в гидрофон как ряд щелчков, повторяющихся с различной частотой, или как скрип двери, поворачивающейся на ржавых петлях. Когда дельфин "скрипел", он почти всегда направлялся к рыбе, словно видел ее; двигаясь же молча, он к лодке не подплывал, даже если рыба была опущена в воду.

Уже из этих опытов стало ясно, что дельфины обнаруживают пищу и различают самые разнообразные предметы под водой с помощью высокочастотных "скрипов" и эха. Однако окончательно эта рабочая гипотеза была подтверждена серией экспериментов, проведенных профессором Флоридского университета Уинтропом Келлогом. Изучению звукового и слухового аппаратов дельфинов Келлог посвятил около 10 лет и впоследствии написал . очень интересную книгу под названием "Морские свиньи и сонар".

У Келлога во флоридском аквариуме "Мэриленд" было два обученных дельфина Альберт и Бетти. Экспериментируя с ними, ученый и его коллеги поставили перед собой задачу выяснить следующие вопросы: издают ли дельфины звуки, аналогичные звукам, используемым в сонарах? обладают ли они приспособлениями, позволяющими улавливать эхо собственных звуков? реагируют ли они на отраженные звуки? используют ли они звуковые сигналы для ориентации и нахождения пищи? С помощью современной довольно сложной электронной аппаратуры исследователям удалось на каждый из этих вопросов получить положительный ответ.

Опыты проводились в бассейне площадью 350 м^2 и глубиной около 2 м. Мягкое илистое дно и стенки бассейна хорошо поглощали звуки и не давали эха. Плавая, афалины взмучивали воду так, что видимость при экспериментах не превышала 35 — 85 см. Все опыты проводились ночью и были поставлены так, что подопытные животные не могли видеть действий человека ни в воде, ни в воздухе. В воду были опущены гидрофоны; звуки, издаваемые дельфинами, записывались специальной аппаратурой. Результаты опытов оказались поразительными. Если в бассейне было спокойно, афалины лишь изредка издавали скрипы или щелчки — поисковые серии звуковых импульсов. Они длились 1 — 5 сек с интервалом между сериями 10 — 20 сек, а длительность отдельного импульса в серии составляла 1 мсек.

При холостом всплеске о поверхность воды дельфины тотчас же издавали одну короткую серию скрипов и замолкали. Если же на поверхность экспериментаторы бросали погружающийся несъедобный предмет, то вслед за первой серией щелчков дельфины издавали еще несколько серий с промежутками в 1 — 2 сек. Но когда этим брошенным предметом оказывалась рыба, следовал целый залп звуковых серий с частотой импульсов до нескольких сотен в секунду, и дельфин направлялся к рыбе. Приближаясь к добыче, он не переставал лоцировать, покачивал головой из стороны в сторону, описывая дугу в 10 — 20°, как бы нацеливаясь на рыбу своим звуковым лучом.

Далее поставили такой эксперимент. В бассейне размером 21,35X16,75 м, наполненном мутной водой, в которой видимость не превышала 50 см, устроили лабиринт: в воду опустили 36 полых металлических стержней (их разместили в б рядов, по 6 штук в каждом, на расстоянии 2,5 м друг от друга), при прикосновении к которым включался электрический звонок. Затем в мутную воду пустили двух дельфинов. В течение первых 20 мин звонок раздался всего лишь 4 раза. По-видимому, дельфины касались стержней горизонтальными плавниками хвоста, когда их тело уже прошло вперед. Следующие 20 мин звонок звонил еще реже, а затем афалины плавали в бассейне, уже не задевая стержней даже в полнейшей темноте. И вот что еще установили исследователи: между стержнями дельфины плыли значительно быстрее, чем обычно в свободном бассейне; при этом они непрерывно посылали звуковые импульсы.

Интересные опыты с дельфином были проведены Кеннетом Норрисом в Калифорнийском университете в Лос-Анжелосе. Исследуя по заданию ВМФ США гидролокационный аппарат дельфинов, ученый научил одну очень послушную афалину по кличке Алиса плавать с резиновыми наглазниками (рис. 3) и принимать пищу по сигналу. Как только экспериментатор подавал сигнал кормления, в гидрофон начинали поступать щелкающие звуки афалины (16 импульсов в секунду). Эхо-лоцирующий дельфин с закрытыми глазами без труда ловил добычу. Частота щелчков увеличивалась по мере приближения Алисы к рыбе. Однако рыбу животное захватывало лишь в том случае, если она оказывались не ниже уровня его верхней челюсти, т. е. попадала в зону локации. Приближаясь к добыче, дельфин так же покачивал головой, как и в экспериментах Келлога. Несмотря на наглазники, Алиса точно, не касаясь телом, проплывала между множеством металлических стержней, подвешенных через промежутки в 1 — 2 м, и по сигналу подплывала к микрофону.

Рис. 3. К глазам дельфина прикрепляют резиновые наглазники, чтобы изучить способности животного плавать вслепую

На каком же расстоянии "видит" дельфин, как далеко простирается луч его локатора? Ответ на этот вопрос был получен в следующем опыте. От лодки перпендикулярно ее борту протягивали тонкую рыбачью сеть длиной в несколько метров. Затем в полной темноте и абсолютно бесшумно то с носа, то с кормы опускали в воду рыбу длиной 10 — 15 см. Подопытный голодный дельфин должен был заблаговременно решить, по какую сторону сети ему плыть, чтобы найти ожидаемое лакомство. Эту задачу он легко решал с расстояния в 4,5 — 5 м.

Таким образом, на основании множества самых разнообразных опытов ученые пришли к общему выводу — эхолокация у дельфинов является основным способом распознавания объектов, погруженных в воду. Локатор дельфина работает почти в том же "режиме", что и локатор летучей мыши. В спокойном состоянии животное постоянно испускает звуковые импульсы через каждые 15 — 20 сек, которые служат для общей ориентировки. Для определения глубины воды, близости берега и льдов, предотвращения столкновения с кораблями животные обычно используют продолжительные (длительностью 1 — 5 сек) импульсы с меняющейся частотой (от 7 до 20 кгц). Когда же внимание дельфина привлекает брошенный в воду предмет, число импульсов резко возрастает (от 5 до 100 и более в секунду) — дельфин подробно изучает изменившуюся обстановку с помощью своего звуколокатора. В 1958 — 1959 гг. Келлог установил, что чем дальше дельфин находится от рыбы, тем ниже частота повторения излучаемых им локационных сигналов и, наоборот, чем ближе рыба, тем эта частота выше. По-видимому,

при сближении с добычей требуется возрастающая прицельность посылки импульсов. Животное, нащупав добычу, старается не выпустить ее из зоны ультразвукового пучка и, сближаясь с ней, вероятно, суживает звуковое поле. Движение к цели (к преследуемой рыбе) становится более точным, если улучшается направленность зондирующего сигнала и эхо-сигнала. Следить за перемещением рыбы в области звукового луча приближающийся к ней дельфин может путем повышения частоты повторения импульсов локации.

Предполагают, что орган "речи" дельфина является многоцелевым (универсальным) устройством — дельфин "разговаривает" и лоцирует с помощью одного и того же звукового генератора. Интересно, что издаваемые дельфином звуки, слышимые человеком, весьма различны и зависят от ситуации. Дельфин "скрипит", "щелкает" при "ощупывании" окружающих (особенно незнакомых) объектов, препятствий и пищи. Для общения с своими сородичами он издает звуки, похожие на удары палкой по мячу, свистит, лает или воет. Например, если мать разлучена с детенышем, оба будут жалобно свистеть до тех пор, пока не соединятся. Способности дельфинов к испусканию и восприятию звуков настолько широки, что просто диву даешься. Уже при постановке первых экспериментов по изучению эхолокации дельфинов ученые были поражены "вокальными способностями" животного: дельфин "излучал" в диапазоне от 150 гц до 196 кгц!

К сожалению, строение органа "речи" дельфина (он же — ультразвуковой генератор его локатора) до сих пор изучено еще очень неполно. Предполагают, что в звукообразовании принимают участие разные органы, связанные с дыхательными функциями, причем основную роль в генерации звуковых сигналов играет сложная система надчерепных воздушных полостей, примыкающих к носовому проходу. Эти своеобразные "мешки" разделены тонкими стенками. Под действием различных мышц воздух пережимается из одного мешка в другой, а вибрирующие при этом стенки порождают ультразвуковой импульс.

Но если принцип генерации ультразвуковых колебаний стал в последние годы более или менее ясным, то до сравнительно недавнего времени для ученых оставалось загадкой, каким образом дельфины ухитряются фокусировать ультразвуки, посылать импульсы в нужном направлении, что является непременным условием эффективной работы любого локатора. В 1962 г. американские исследователи Вильям Эванс и Джон Прескотт высказали предположение, что выпуклая жировая

подушка, расположенная на челюстных и межчелюстных костях, и вогнутая передняя поверхность черепа дельфинов действуют как звуковая линза. Аналогичная гипотеза была выдвинута и советскими учеными В. Бельковичем и А. Яблоковым. "На голове дельфинов и зубатых китов, — писали они, — есть лобный выступ из жировой ткани. Нам кажется, что эта ткань служит акустической линзой". В пользу такой гипотезы имелись следующие доводы. Показатель преломления жировой ткани, образующей так называемый лобный выступ дельфина, очень близок к показателям преломления веществ, которые используются в технике для изготовления акустических линз. И далее. Вся система жировой подушки снабжена собственной своеобразной мускулатурой и сложной системой связок. Очевидно, назначение их в том, чтобы изменять фокусировку линзы. Роль рефлектора генерируемых дельфином ультразвуков ученые в своей гипотезе отвели его черепу, исходя из особенности конструкции последнего, а также из того, что костные ткани очень плохо проводят ультразвуковые колебания. Таким образом, согласно гипотезе Эванса — Прескотта и Бельковича — Яблокова, "линза" и "рефлектор" — это те органы в природном гидролокаторе дельфина, которые концентрируют, сигналы, излучаемые воздушными мешками, связанными с носовым каналом (рис. 4), и в виде звукового пучка направляют их на лоцируемый объект; дельфин может "ощупывать" пространство впереди себя через "линзу" и широким рассеянным пучком ультразвука и очень тонким.

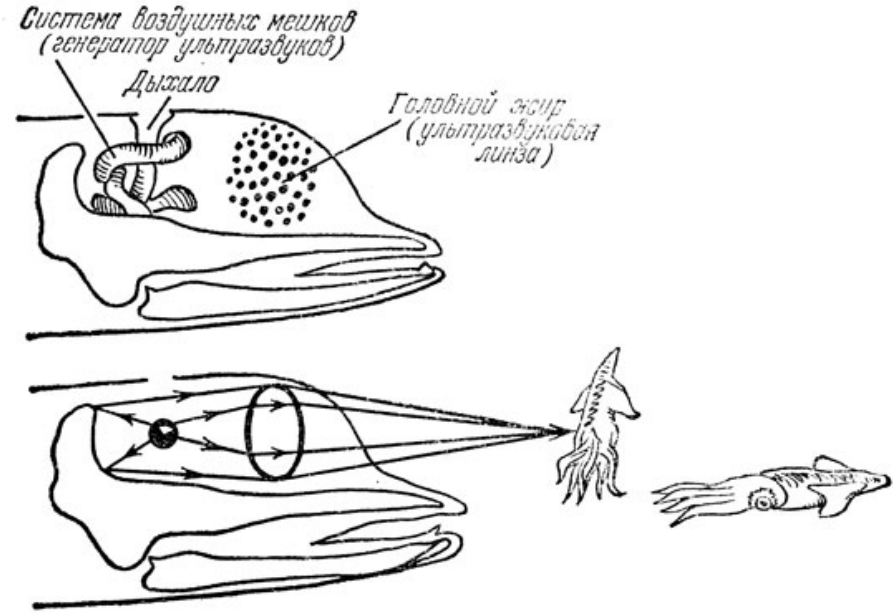


Рис. 4. Ультразвуковая 'линза' и 'рефлектор' в голове дельфина (по В. Бельковичу и А. Яблокову)

И все же, хотя гипотеза звуковой линзы красиво и логично объясняла точность, прицельность и даже дальность эхолокации дельфинов, без экспериментальной проверки она практически оставалась бездоказательной. Правда, Эванс и Прескотт в подтверждение своей гипотезы провели один опыт. Они отрезали головы у двух дельфинов и через гортань и носовой канал пропускали 10 л воздуха под давлением в 1,5 атм. Полученный при этом звук был несколько сходен со звуком, который издают живые дельфины. Но измерения давления, создаваемого этими звуками на одинаковом расстоянии (38 см) от дыхала в разных секторах, не показали ярко выраженной направленности.

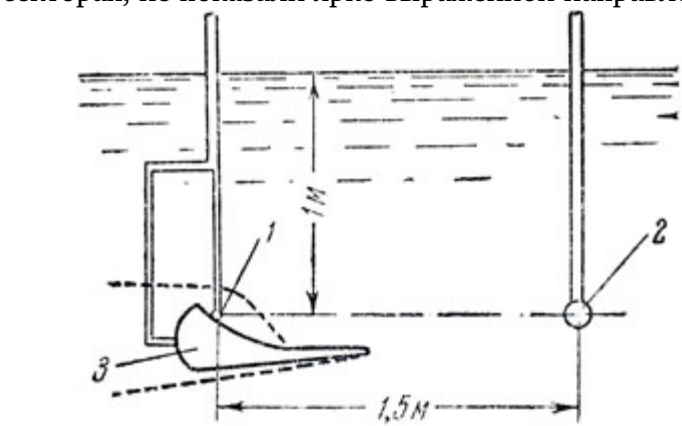


Рис. 5. Схема опыта с головой и черепом обычного дельфина (по Е. В. Романенко, А. Г. Томилину и Б. А. Артеменко). 1 — излучатель звука; 2 — приемник звука; 3 — голова дельфина, вращаемая вокруг вертикальной оси в горизонтальной плоскости

По-иному к выяснению роли головы дельфина в концентрировании звуковых колебаний подошли советские ученые Е. В. Романенко, А. Г. Томилин и Б. А. Артеменко. В своих экспериментах, поставленных в 1963 г. в небольшой бухте на Черном море, исследователи изучали концентрирование звука очищенным от тканей черепом и целой головой обыкновенного дельфина. Опыты велись в морской воде на глубине 1 м. "В обоих случаях, — пишет профессор А. Г. Томилин, — излучатель звука (шарик из титаната бария) помещали в область расположения воздушных мешков — к переносице головы или черепа дельфина. Излучатель подключали к звуковому генератору и получали колебания разной частоты. Колебания излучателя отражались от передней стенки черепа, проходили сквозь мягкие ткани и воду и воспринимались приемником, расположенным в 1,5 м от излучателя (рис. 5). Направленность звука исследовалась путем вращения черепа или головы дельфина около вертикальной оси в горизонтальной плоскости. Приемник четко показывал направленность звука, так как интенсивность принимаемых им звуков при вращении черепа изменялась. Испытания показали, как изменяется направленность звуков, формируемая черепом и целой головой дельфина, в зависимости от частоты излучаемых звуков. Оказалось, что с уменьшением частоты от 180 до 10 кгц направленность звуков, обусловливаемая вогнутой передней поверхностью мозговой части черепа и мягкими тканями головы, значительно уменьшалась, а звуковое поле расширялось (рис. 6).

Основную роль концентратора звуков выполняет череп, дополнительную — мягкие ткани головы. Таким образом, советские ученые доказали, что дельфины концентрируют и направляют свои акустические сигналы "ультразвуковым прожектором", роль которого выполняют череп и мягкие ткани головы. Чем выше частота импульсов, тем сильнее суживается звуковое поле посылаемого сигнала и тем выше точность локации. Именно в направленности сигналов таится секрет "ультразвукового разглядывания" дельфинами предметов на разных расстояниях" (курсив наш. — И, А.).

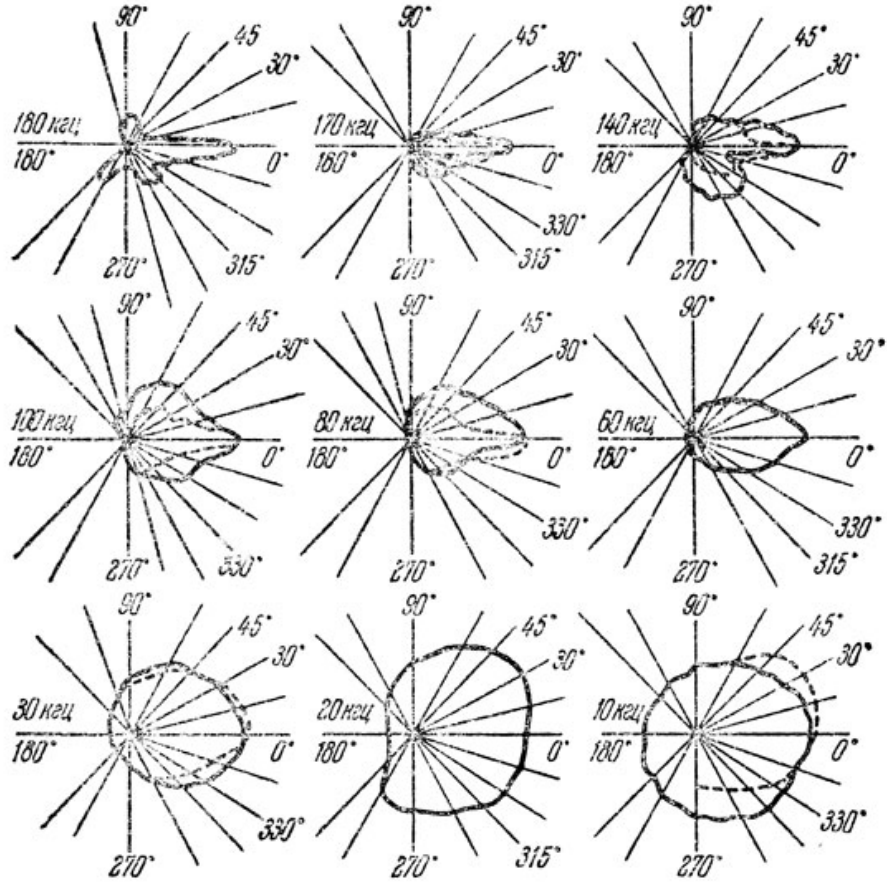


Рис. 6. Направленность, обусловленная костями черепа (сплошные линии) и всей головой (пунктирные линии) обычного дельфина (по Е. Б. Романенко, А. Г. Томилину и Б. А. Артеменко)

Ученые установили, что высота тона (частота) локатора дельфина, как и локатора летучей мыши, быстро меняется от начала каждого импульса к его концу. О преимуществах такой частотной модуляции мы уже говорили. В конце второй мировой войны инженеры эффективно использовали частотно-модулированные колебания для создания помехозащищенного ультразвукового гидролокатора — сонара. А спустя некоторое время, когда было начато подробное изучение дельфинов, оказалось, что сонар работает примерно так же, как локатор дельфина. Значит, инженеры открыли и сумели применить тот же принцип, который с незапамятных времен использует природа в своих живых ультразвуковых локаторах.

Принцип этот таков. Быстро меняющемуся тону передатчика соответствует и меняющаяся частота отраженного эха. Высота

тона принимаемого сигнала отличается от тона звука, испускаемого в данный момент. Поэтому сонар не создает сам себе помех. Отраженный от цели импульс с характерным частотным спектром легко выделить из шума практически любой интенсивности. А это очень важно.

В начале войны почти все военные суда располагали устройствами для прослушивания подводных шумов; применяемые для этой цели гидрофоны и гидролокаторы представляли собой усовершенствованные варианты обычного эхолота. И те и другие исправно работали только тогда, когда корабль стоял на месте. При его движении в шуме воды, обтекавшей корпус, совершенно терялись сигналы эхолокаторов и становилось невозможным различить какие бы то ни было другие звуки (в том числе и шум винтов подкрадывающейся подводной лодки). Поэтому так губительны были атаки немецких "сумбарин", которые подходили вплотную к союзным конвоям без риска быть обнаруженными.

Теперь подводная лодка не сможет подойти к движущемуся судну незамеченной: на движущемся корабле сонар работает почти так же хорошо, как и на неподвижном. Кроме того, его сигналы, отраженные от предметов разной формы и размеров, несколько отличаются друг от друга, и поэтому опытный гидроакустик может опознать различные предметы, находящиеся в зоне действия локатора.

Сонары непрерывно совершенствуются, но пока по тактико-техническим данным им далеко до дельфиньих. Прежде всего гидролокационный аппарат дельфинов лучше защищен от помех, нежели современные сонары, спектр излучаемых им колебаний более широк, богаче модуляцией по интенсивности и частоте повторения. Так, например, в опытах Келлога в случаях ближней ориентации при решении задачи о местонахождении препятствия и пищи афалин пытались сбивать записанными ранее на пленку громкими сигналами, но животные без труда отличали свои истинные сигналы от этих искусственно воспроизводимых помех. Если наиболее совершенные локаторы, созданные инженерами, уверенно выделяют сигнал лишь при отношении сигнала к шуму, равном 2 или 3, то дельфиний звуколокатор, как показывают эксперименты, способен распознавать полезные сигналы, которые в десятки раз (!) слабее мешающего шума.

Не менее поразительна точность эхолокации дельфинов. Опытами установлено, что дельфины способны определять направление на цель при расстояниях в десятки метров с точностью не менее 30'. В экспериментах, проводившихся советскими учеными на Черном море, афалины безошибочно

подплывали, например, к дробинке диаметром 4 мм, брошенной в море на расстоянии 20 — 30 м от животного, предварительно прощупав ее звуковым пучком. В опытах Норриса знакомая уже нам афалина Алиса с глазами, закрытыми резиновыми наглазниками, и плотно заткнутым носом вслепую определяла с большой точностью размеры шариков, которые бросал в воду экспериментатор. Сначала Норрис и его коллега Тернер научили Алису различать два стальных шара — маленький диаметром 3,75 см и большой диаметром 6,25 см. Если животное выбирало большой шар, то оно получало в награду рыбу. "Затем, — рассказывает Норрис, — мы закрыли глаза Алисе и постепенно увеличивали размер маленького шара. С закрытыми глазами, выбирая между шарами диаметром 5 и 6,25 см, Алиса не ошиблась ни разу на протяжении сотни опытов. Даже когда диаметры шаров составляли 5,62 и 6,25 см, она в большинстве случаев не ошибалась, хотя и были случайные ошибки. Эта разница в 0,6 см так мала, что вы с трудом можете ее обнаружить невооруженным глазом". Далее эксперименты показали, что, пользуясь своей сонарной системой, дельфин способен обнаружить металлическую проволоку диаметром 0,2 мм в 77% случаев.

Изучая работу локационного аппарата дельфина, ученые обнаружили еще одну очень важную его особенность: издаваемые животным ультразвуки, отражаясь от окружающих предметов, позволяют ему определять не только местоположение последних, но и их форму, природу, структуру. Так, например, в опытах Норриса с афалиной Алисой животное с плотно закрытыми глазами легко отличало при помощи своего сонара, издававшего скрипы, желатиновую капсулу, наполненную водой, от куска рыбы такой же величины. В экспериментах Келлога и его коллег подопытные дельфины Альберт и Бетти в кромешной тьме безошибочно отличали форель длиной 15 см от кефали длиной 30 см — форель им нравилась явно больше. В другом опыте крупной кефали дельфины предпочли вдвое меньшего пятнистого горбыля. Когда обеих рыб погружали в бассейн, афалины почти всегда устремлялись к горбылю: в первых 16 испытаниях Альберт ошибся только четыре раза, а в 140 последующих — ни одного раза! Когда горбыля подвешивали за стеклянным экраном (рыба была видна глазом, но недоступна для эхолокации), а кефаль — перед ним (она была доступна для ультразвукового распознавания), то дельфин никогда не пытался ловить горбыля и довольствовался кефалью. П. Т. Асташенков указывает, что дельфины могут обнаруживать стаю рыб и различать их породу на расстоянии 3 км!

Итак, все известные нам сегодня достоинства гидролокатора дельфинов убедительно говорят о том, что эта биологическая система является непревзойденным образцом для каждого инженера, занимающегося разработкой гидролокационной техники. Вместе с тем приходится признать, что принципы устройства и функционирования локатора у дельфина исследованы пока значительно хуже, чем у летучих мышей. Многое остается еще неясным и для бионików и для инженеров. Неизвестно, например, каким образом удается китообразным по отраженным звукам предельно точно различать величину и даже структуру предмета. Не ясно, применяют ли дельфины высокочастотные импульсы и "ультразвуковой прожектор" для дальнего эхолоцирования. Не выяснено также, на каком максимальном расстоянии еще достаточна точность их гидролокатора и какие частоты используются для дальней локации. Для ответа на все эти и множество других вопросов ученым придется поставить еще не одну серию опытов, произвести не одно исследование дельфиньего сонара.

Гидролокатор дельфинов совершенствовался тысячелетиями. За это время природа "испытала" несчетное количество возможных технических решений и "выбрала" самые лучшие. Все это лучшее бионика, надо полагать, в недалеком будущем познает и передаст творцам локационных систем для создания новых гидролокаторов, достигающих по своему совершенству живых локаторов дельфина.

Значительный интерес проявляют ныне бионики и к акулам. Научные исследования показали, что акула подобна управляемой торпеде. По всей вероятности, на след жертвы ее "наводит" не сильно развитое обоняние, как думали раньше, а настоящая локационная система, с помощью которой она воспринимает всевозможные звуки и колебания. В одном из университетов США сейчас тщательно изучается способность акул к самонаведению на жертву. Механизм самонаведения акул предполагается приспособить для создания управляемого оружия.

Не обидела природа локационными способностями и многих других обитателей царства Нептуна. Недавно в зоологических садах Сан-Франциско, Сан-Диего и в Нью-Йоркском аквариуме были проведены исследования звуков, издаваемых рядом ластоногих. Оказалось, что тюлени способны издавать сигналы с частотой до 30 кгц и длительностью 0,3 — 1,0 мсек. То обстоятельство, что эти звуки, как правило, регистрировались после попадания в бассейн незнакомых предметов, а также во время хватания пищи, дает основания полагать, что ластоногие пользуются активной звуколокациеи. Таким образом, к зубатым

китообразным и летучим мышам прибавился еще один отряд млекопитающих, способных издавать ультразвуки и применять их для эхолокации.

Однако локация с помощью ультразвука — не единственное средство обнаружения в арсенале природы. Существуют и другие виды локаций.

В Ниле живет рыбка, которую из-за вытянутых в длинный хобот челюстей называют "нильский длиннорыл" или "водяной слоник" (рис. 7). Научное ее название — мормирус. Длиннорыл знаменит тем, что его почти невозможно поймать. Донные сети приносят что угодно, но мормирусов в улове, как правило, не бывает. Долгое время оставалось непонятным, как же длиннорыл умудряется уходить из сетей. И лишь недавно ученым удалось установить, что мормирусу вовсе не приходится "уходить" из сетей по той простой причине, что он в них не попадает. Он их легко обнаруживает и ускользает.

Как же удается длиннорылу увидеть или почувствовать рыбачьи сети на расстоянии?

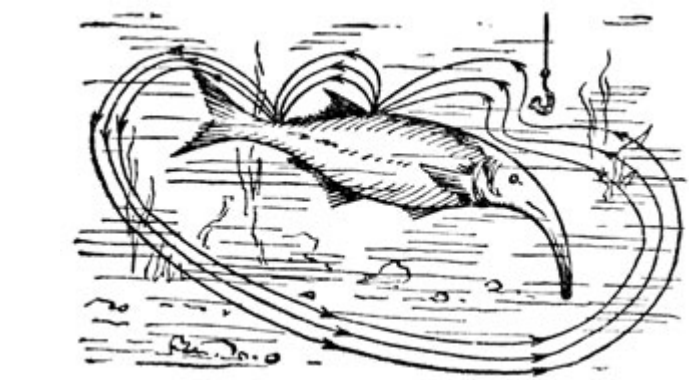


Рис. 7. Нильский длиннорыл

Общеизвестно, что сверхвысокочастотные электромагнитные волны очень быстро затухают в воде. По этому радиолокация и другие радиослужбы под водой невозможны. Однако природа все же наделила нильского длиннорыла чувствительным радиолокатором. Правда, радиус его действия — всего несколько метров. Но длиннорылу этого вполне достаточно. Он любит копаться в речном иле, где и находит себе пищу. Зарывшись головой в ил, длиннорыл, естественно, не имеет возможности следить за окружающим пространством и может легко попасть в сети или стать добычей хищников. Вот тут-то ему и помогает его радиолокатор. Сверху, у основания хвоста длиннорыла, расположен излучатель электрических сигналов. Он посылает в

окружающее пространство до 100 импульсов в минуту с амплитудой несколько вольт. Возникающее электрическое поле искажается, как только в нем появляется новый предмет. Нервные окончания особого органа, расположенного у основания спинного плавника со стороны головы, улавливают малейшие изменения этого поля в окружающей среде. Чувствительность локационной системы мормируса чрезвычайно велика. Электрорецепторы способны реагировать на изменения разности потенциалов поля, равные $3 \cdot 10^{-9}$ в на 1 мм длины, т. е. их чувствительность в 10^5 раз превышает пороговую чувствительность нейрона. Попутно следует отметить, что водяной слоник — одно из немногих животных, чувствительных к магнитному полю. Он реагирует на поднесенный к аквариуму постоянный магнит.

Физическая природа локационной системы мормируса еще не совсем ясна. С одной стороны, установлено, что он посылает электрические импульсы с частотой около 100 посылок в минуту. С другой стороны, он создает в окружающем пространстве электростатическое поле. Из этого вытекают две возможности: улавливание отраженных импульсов и улавливание изменений конфигурации линий поля. Не исключено, что длиннорыл использует оба способа обнаружения.

Некоторые исследователи предполагают, что действие локатора мормируса основано на принципе изменения электропроводности среды. Возможно также, что длиннорыл в результате длительной эволюции сумел "подобрать" для своего радиолокатора какой-то неизвестный пока инженерам диапазон электромагнитных волн, с помощью которых ему удается осуществлять радиолокацию под водой.

Загадку нильской рыбки предстоит решить совместными усилиями ученых, занимающихся радиотехникой и бионикой, — ведь не исключено, что мормирус "изобрел" принцип эффективного обнаружения, который неизвестен пока специалистам по локационной технике.

До сих пор мы говорили об активной локации, суть которой состоит в том, что обнаружение "целей" производится за счет энергии, затрачиваемой передатчиком локатора на "прочесывание" окружающего пространства. С помощью активных локаторов можно обнаружить любой предмет, лишь бы он был достаточно большим и находился достаточно близко.

Но природа не обошла вниманием и другой способ локации — пассивное обнаружение объектов, которые сами излучают энергию. За примерами далеко ходить не нужно. Органы слуха позволяют устанавливать присутствие звучащего (т. е. излучающего энергию звуковых колебаний) предмета и

определять направление на этот предмет. Органы зрения дают нам возможность обнаружить тело, испускающее видимый свет. Глаза — весьма совершенные пассивные локаторы, однако с их помощью человек не может увидеть предметов, испускающих, например, инфракрасные (тепловые) лучи. А некоторые животные могут.

Глубоководные кальмары, помимо обычных глаз, наделены еще так называемыми термоскопическими глазами, т. е. органами, способными улавливать инфракрасные лучи. Термоскопические глаза расположены по всей нижней поверхности хвоста. Они устроены так же, как обычный глаз, но снабжены светофильтрами, задерживающими все лучи, кроме инфракрасных.

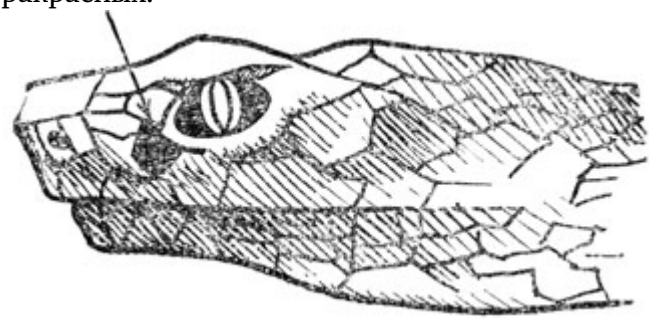


Рис. 8. Между ноздрей и глазом у ядовитых змей щитомордиков имеются большие ямки. Стрелкой показано углубление, напоминающее дополнительную ноздрю

Своеобразными термолокаторами обладают и змеи. У некоторых ядовитых змей между глазом и ноздрей с каждой стороны находится по довольно большому углублению, и поэтому кажется, что у них четыре ноздри (рис. 8). Такие змеи водятся в Америке (гремучие змеи) и в Азии (щитомордики). Исследования представителей этого семейства дали ученым основания утверждать, что "ямки" на голове змеи представляют собой какой-то орган чувств.

Было установлено, что каждое углубление разделено тонкой перегородкой на две части — наружную и внутреннюю. Разделяющая их перегородка очень тонка и вся пронизана нервными волокнами. Безусловно, это орган чувств. Но каких? На сей счет было сделано очень много предположений, и только недавно выяснилось, что лишняя пара "ноздрей" и служит термолокатором.

Проделали такой эксперимент. Змею ослепили и лишили обоняния. Затем к ее голове поднесли не включенную электрическую лампочку. Змея не обратила на нее никакого

внимания. Но когда к голове змеи поднесли горящую лампочку (по соображениям "чистоты" эксперимента она была обернута черной бумагой, не пропускавшей свет), змея сделала молниеносный бросок и укусила теплую "жертву". Змея не могла увидеть лампочку, но тем не менее она не промахнулась. Сразу же было предложено и объяснение устройства термолокаторов. Было решено, что во внутренней камере сохраняется температура окружающего воздуха, а в наружной возникают изменения температуры, вызванные тепловым излучением "целей". Нервные волокна, пронизывающие всю перегородку, улавливают разницу температур и передают ее в мозг — змея узнает, где находятся более теплые, чем окружающий воздух, предметы.

Термолокаторы змей приспособлены для ночной охоты. С их помощью змея обнаруживает мелких теплокровных зверьков и птиц. У змеи слабые зрение и обоняние и неважный слух. На помощь змеям пришел еще один орган — термолоцирующий. Не звуки и не запах, а тепло тела выдают змее ее жертву. Ученые установили, что термолокатор змей реагирует на разность температур в 0,001° Ц. Такая чувствительность сделала бы честь любому прибору для наведения ракет на цель по испускаемому ею тепловому излучению.

Лучшие из современных технических термолокаторов имеют чувствительность порядка 0,0005° Ц, так что здесь инженеры оказались сильнее природы. Чувствительность таких устройств определяется в первую очередь качеством болометра (приемника инфракрасного излучения), зачерненная поверхность которого сильно меняет свое электрическое сопротивление в зависимости от температуры. Роль такого болометра у змеи играет, очевидно, мембрана между обеими камерами. Есть все основания считать, что она более чувствительна к инфракрасному излучению, чем пленка болометра. В самом деле, поверхности, которые собирают тепловые лучи и фокусируют их на болометр термолокатора и на чувствительную перегородку змеи, очень сильно различаются по величине. Зеркало чувствительного термолокатора, фокусирующее падающее на него излучение на болометр, может иметь в диаметре больше метра, тогда как диаметры "ноздрей" — теплового локатора змеи — не превышают сантиметра. Таким образом, площади этих поверхностей различаются на четыре порядка. А чувствительность технических термолокаторов больше термолокатора змеи только в два раза, а это значит, что перегородка змеи чувствительнее пленок современных болометров в несколько тысяч раз. Вот где следует искать путей повышения чувствительности технических систем такого рода! Но, увы, принцип работы болометра змеи пока неясен.

В своей дистанционной сигнальной службе обнаружения живая природа использует еще много других высокочувствительных "приборов", основанных на разных принципах и представляющих большой интерес для техники. Особенно богат такими системами мир насекомых. "Приборы" обнаружения у насекомых чрезвычайно просты по устройству, но по широте диапазона воспринимаемых сигналов, по разнообразию "конструкций", микроминиатюрности, надежности работы они занимают первое место не только по сравнению с аналогичными техническими системами, но и по сравнению с такими же устройствами, имеющимися у других представителей живой природы. Возьмем к примеру муравьев. В глубине муравейников они руководствуются не зрением, а особым "чувством", представляющим собой сложный комплекс осязания и обоняния. Обоняние у муравьев не похоже на наше — оно позволяет воспринимать даже форму предметов!

Необходимо признать, что органы обоняния у животных и человека, к большому сожалению, изучены пока меньше, чем все другие органы чувств. Между тем созданные природой системы обоняния обладают изумительной гибкостью, высокой чувствительностью и прекрасно приспособлены для пассивной локации. О механизме восприятия запахов сегодня еще мало что известно. У нас даже нет меры, которой можно было бы измерять силу запаха так, как мы измеряем силу звука, освещенность или температуру. Известный специалист по проблемам запаха и обоняния Р. Райт, автор недавно переведенной на русский язык книги "Наука о запахе", в главе "Сила запаха" пишет: "Однажды мне захотелось узнать, как пахнет вещество, называемое фенилацетиленом. Я взял "Органическую химию" Рихтера и на стр. 446 прочел, что это "...жидкость со слабым запахом". Потом заглянул в "Органическую химию" Бернтсена и на стр. 414 обнаружил, что это "...жидкость с приятным запахом". А на стр. 157 "Руководства по органической химии" Дайсона было указано, что фенилацетилен — это "бесцветная жидкость с неприятным запахом, напоминающим запах лука". Подобного рода оценки запаха в жизни довольно обычны. Люди по-разному воспринимают запах одного и того же вещества.

Не существует пока и общей теории, которая объясняла бы, каким образом нос и мозг обнаруживают, сравнивают и опознают запахи. А ведь в разное время было выдвинуто около 30 предположений на этот счет. Но ни одно из них не выдержало экспериментальной проверки и не смогло опровергнуть уже давно установившееся представление о том, что для обонятельных восприятий необходимо присутствие в воздухе пахучих частиц.

А эта концепция существует уже более 2000 лет, со времен римского поэта Лукреция Кара, который считал, что в носу есть маленькие поры, различные по размерам и по форме, в которые входят "пахучие" частички, испускаемые летучими веществами. Частички каждого вещества имеют только им одним присущую форму, а распознавание каждого запаха зависит от того, к каким порам подходят эти частички.

Теперь ученые считают, что догадка Лукреция Кара была справедлива. За последние несколько лет были собраны данные, подтверждающие, что геометрия молекул пахучих веществ действительно служит главным опознавательным признаком запаха.

В 1941 г. шотландский ученый Р. Монкриф выдвинул гипотезу, которая в настоящее время считается наиболее состоятельной. И она очень напоминает догадку римского поэта. Монкриф предположил, что обонятельная система содержит рецепторные клетки нескольких различных типов, каждый из которых соответствует определенному "первичному" запаху, и что молекулы пахучего вещества вызывают ощущение запаха, плотно входя в рецепторные участки этих клеток. Согласно теории Монкрифа предполагается прежде всего механическое взаимодействие молекул с рецепторными клетками. Молекула соответствующей конфигурации входит в углубление рецептора примерно так же, как штепсельная вилка в розетку. Допускается также, что некоторые молекулы могут входить в две разные розетки — одной стороной в более широкий рецептор, а другой — в более узкий. В таком случае возникает ощущение "сложного" запаха. А каковы "первичные" запахи?

Американский ученый Дж. Эймур нашел ответ на этот вопрос, проведя обширные исследования по органической химии. Он установил, что первичные запахи, смеси которых в определенной пропорции дают любой из известных запахов, суть следующие: камфорный, мускусный, цветочный, мятный, острый и гнилостный. Молекулы веществ с разными первичными запахами отличаются друг от друга по форме. Мускусный запах свойствен молекулам в форме диска, молекулы с камфорным запахом имеют форму шара и т. п. Ученый весьма эффектно подтвердил свою теорию. Он спроектировал молекулу некоего, неизвестного до тех пор вещества и предсказал, как оно будет пахнуть. Химики по его просьбе синтезировали вещество с такими молекулами, а опытные "дегустаторы" установили, что его запах именно таков, каким он должен был быть по прогнозу Эймура.

Таким образом, наши органы обоняния работают, вероятно, по принципу "ключа и замка". И этот в общем простой принцип

позволяет производить сложнейшие химические анализы. Так, например, установлено, что обоняние человека способно опознать запах этил-меркаптана при концентрации $4 \cdot 10^{-9}$ кг/м^3, ванилина — при $2 \cdot 10^{-13}$ кг/м^3. Сигнал о наличии пахучего вещества генерируется практически мгновенно, сразу вслед за соприкосновением этого вещества с периферической частью обонятельного аппарата. Чувствительность же газоанализатора, например ВТИ-2, достигает лишь 10^{-6}кг/м^3, а время, потребное на одно определение запаха вещества, колеблется в пределах от нескольких минут до десятков минут.

Л. Милн и М. Милн, авторы недавно изданной у нас КНИГУ "Чувства животных и человеки", пишут: "Среди веществ, к которым наш нос наиболее чувствителен, нужно назвать мускус, выделяемый анальными пахучими железами самца мускусной кабарги[7].

Химики подсчитали, что с любой небольшой поверхности мускусного раствора, с которого каждую секунду высвобождается 800 000 молекул, за две секунды выделяется столько молекул, что человек ощутит запах мускуса.

Для Северной Америки более знакомый запах — это химическое оружие скунса. Активное начало в нем — этилмеркаптан, который ощущается человеком при вдыхании всего лишь 0,000 000 000 000 002 г. Такое незначительное количество все же содержит 19 400 000 000 молекул; значит, нашему носу требуется почти в 12 000 раз больше пахучего вещества скунса, чем соответствующего вещества мускусной кабарги, чтобы послать мозгу верную информацию".

И все же, имея немало оснований для того, чтобы гордиться данным нам природой органом обоняния, приходится признать, что он далеко еще не блещет тонкостью восприятия. В природе имеются сотни тысяч запахов. Из них человек в состоянии воспринять лишь очень небольшую часть, причем способность эта развита у людей неодинаково. У женщин обоняние тоньше, чем у мужчин. Большинство людей воспринимает запахи левой ноздрей лучше, чем правой. А вот обыкновенная дворняжка, подумать только, может различать до полумиллиона запахов, совершенно недоступных человеку.

Бывалые моряки хорошо помнят то время, когда в списках экипажей подводных лодок числились... белые мыши. Дело в том, что в свое время даже "владычица морей" Англия строила лодки, которые освещались газолином — жидким углеводородом, представлявшим огромную опасность при малейшей небрежности. Выяснилось, что белые мыши чрезвычайно чувствительны к запаху газа и моментально предупреждают о его

утечке своим писком. На содержание мышей отпускались даже специальные деньги, включавшиеся в общую расходную ведомость команды.

Недавно ученые установили, что некоторые рыбы (главным образом ночные) способны реагировать даже на отдельные молекулы ароматического вещества[8]. В частности, при изучении обоняния угря было установлено, что он может обнаруживать по запаху спирт в разведении, равном $6 \cdot 10^{-20}$. Иными словами, достаточно в Ладожском озере (объем воды в нем равен 3500 км^3) развести 1 г спирта, чтобы угорь мог отличить эту воду от другой!

Узнали об этом американские военные специалисты — и всполошились. Еще бы. Ведь с помощью такого прибора подводная лодка могла бы "взять след", оставленный в открытом океане неприятельским судном. И вот американские инженеры бьются над созданием прибора, который мог бы обнаруживать корабли по запаху, т. е. по наличию в воде пахучих примесей, остающихся в кильватерной струе движущихся кораблей. Попутно отметим, что ученые Иллинойского технологического института по контракту с Федеральным агентством авиации работают сейчас над созданием устройства, способного "вынюхивать" бомбы, спрятанные в самолетах.

Обоняние, разумеется, можно использовать не только в военных целях. Горняки, например, — уже много лет — подобно английским подводникам в прошлом используют "нюх" белых мышей для обнаружения рудничного газа. Наличие этого взрывоопасного яда устанавливают по изменению поведения обычно спокойных мышей: чувствуя запах газа, они начинают метаться в клетке. Буйство, так несвойственное этим животным, — вот сигнал опасности, и, значит, следует немедленно принимать меры.

Очень часто обнаружение запаха газа поручают собакам. Так, дирекция одной из газовых сетей в ГДР пользуется услугами некоей овчарки, которая обнаруживает течи в газовых магистралях. Она ежедневно проходит вдоль семикилометрового газопровода, тщательно принюхиваясь. Газовщики считают, что никакой прибор не может сравниться с "нюхом" этой собаки, когда дело касается запаха газа. Обнаружив утечку, пес ложится и громко лает, вызывая аварийную бригаду, которая должна привести магистраль в порядок.

Немало человеческих жизней спасли собаки в годы второй мировой войны. Миноискатели тех времен нащупывали лишь металлические оболочки. Собаки же остро чувствуют запахи взрывчатки, фугасов и других "сюрпризов" в оболочках и без оболочек. Но для этого они должны пройти специальную

тренировку. После такой тренировки четвероногие успешно "соперничают" со специальными приборами. В годы прошедшей войны саперы не раз выходили на выполнение заданий, держа на поводке собак...

Эту изумительную способность наших четвероногих друзей — очень точно улавливать и различать запахи — недавно решили использовать и... геологи. Инициатива обучения собак новой профессии в нашей стране принадлежит доктору биологических наук Г. А. Васильеву. В Петрозаводский научно-исследовательский институт геологии из питомника Министерства путей сообщения привезли несколько четвероногих. Тренировкой их занялся инструктор Орлов совместно с работниками института. Они учили собак отыскивать тщательно спрятанные камешки — серный колчедан. Этот поиск — "начальное образование" четвероногого разведчика. В ходе тренировки задания усложнялись. Ведь главное — это разведка рудных месторождений, помощь человеку в составлении подробнейшей геологической карты; поэтому собак учили запоминать запахи разных руд, ходить по маршруту, отличать одни полезные ископаемые от других.

Пройдя успешно "курс наук" рудоискателей, одна овчарка по кличке Мурат прошлым летом преподала весьма интересный урок работникам одной поисковой партии. Начали бурить скважину. Мурат подошел, покрутился немного, а затем направился в сторону. В пятидесяти метрах он остановился и залаял. На этом месте разведчики обнаружили залежи серного колчедана!

В Финляндии овчарка Лари удостоилась даже государственной премии: она обнаружила большие месторождения руды. Оказывается, хорошо натренированная собака может найти, например, серный колчедан, лежащий на глубине семи и более метров. Этой удивительной способностью собак заинтересовались сейчас инженеры. Они думают над тем, как создать по образцу собачьего носа электронное устройство, которое обнаруживало бы по запаху не только серный колчедан, но и другие ценные руды.

Обоняние собак с незапамятных времен используется для выслеживания дичи и поимки преступников. Специалисты утверждают, что каждый человек оставляет после себя присущий только ему одному запах. Следовательно, разные преступники пахнут по-разному. И даже если грабитель не оставляет на месте преступления своих вещей — носового платка или перчатки, по которым можно было бы установить его личность, — след все же остается. Этот след — запах. Преступников следует находить по их запаху. Такова конструктивная идея, реализацией которой

сейчас занята полиция США, где рост преступности достиг катастрофических размеров. Число нераскрытых преступлений, совершаемых гражданами "собственной страны господа бога", с каждым годом увеличивается. Традиционные методы розыска преступников стали неэффективными.

И вот появляется новый подход к проблеме — не преступности, а только розыска преступников: американская полиция создает "обонятельный комплекс для обнаружения преступников". Она уже вооружилась новым прибором — анализатором запахов, который в 1000 раз чувствительнее собачьего нюха. Устройство безошибочно определяет всех лиц, находившихся в данном помещении в течение последних суток. Это, так сказать, активная часть комплекса. Другая его часть пассивная — картотека "преступных запахов", которая должна помочь в опознании граждан, совершивших противозаконные действия. Опознание предполагается производить с помощью упомянутого выше анализатора запахов, принцип действия которого полиция держит на всякий случай в строгом секрете. Картотека стремительно пополняется: теперь запахи фиксируются с такой же тщательностью, как и отпечатки пальцев преступников, а застоя в этой области деятельности полиции еще никогда не было отмечено, такой работы у нее всегда невпроворот.

Интересно, что полицейский анализатор запаха является первой по-настоящему эффективной технической обонятельной системой. Известно также несколько других вариантов моделей искусственного носа, но их возможности, однако, весьма ограничены.

Читатели, на которых по каким-либо причинам обращали свое внимание сотрудники Государственной автомобильной инспекции, вероятно, знают о пробе Раппопорта. Водителю, задержанному, скажем, за превышение скорости, предлагается подуть в стеклянную трубочку, в которой находится вата, смоченная специальным раствором. Если после этого вата синеет, инспектор может с уверенностью сказать, что налицо нарушение правил — шофер находится в состоянии опьянения. Сотрудники ГАИ утверждают, что проба положительна даже после стакана пива, выпитого нарушителем за несколько часов до происшествия. Этот способ борьбы с пьянством на транспорте нерадикален: многие остаются непойманными и в конце концов становятся виновниками дорожных происшествий.

Одна иностранная фирма, сдающая автомобили во временное пользование, приняла меры к тому, чтобы предупредить пьяное лихачество на принадлежащих ей машинах. Она снабдила свои

автомобили устройствами, которые не позволяют лицам, находящимся в нетрезвом состоянии, завести двигатель. Чувствительный элемент — "нос" прибора — реагирует на наличие в кабине винных паров. Человек, выдыхающий такие пары, не может включить зажигания, сколько бы он ни вертел ключом. Электронный "нос" указывает исполнительным элементам, что за рулем пьяница, и они надежно отключают систему зажигания от аккумулятора. "Нос" настолько чувствителен, что делает свое дело даже при сквозняке в кабине и при наличии "помех" от парфюмерии. По понятным причинам ни на какие запахи, кроме спиртного, устройство не реагирует.

Этот прибор, как и все существующие модели органов обоняния, опознает запахи в конечном счете посредством химического анализа. Чем шире диапазон воспринимаемых запахов, тем сложнее прибор, тем труднее с ним работать. Поэтому очень интересен подход к проблеме создания простого и эффективного запахолокатора, предложенный американским ученым Робертом Кеем. Кей предложил использовать в таких приборах в качестве чувствительных элементов "готовую продукцию" природы — органы обоняния животных.

Он поставил перед собой задачу создать прибор, который обнаруживал бы ядовитый газ и поднимал тревогу, когда его концентрация достигнет опасного для человека уровня. Опасность отравления постоянно существует, например, в шахтах, где о концентрации рудничного газа судят по поведению мышей. Но за мышами нужно непрерывно наблюдать, чтобы не пропустить тот момент, когда они забеспокоятся. Можно отсылать пробы воздуха в лабораторию, но это требует времени. Концентрацию газа нужно анализировать непрерывно и быстро — такова должна быть рабочая установка.

В качестве чувствительного элемента — датчика запаха рудничного газа — Кей использовал... муху. К нервным узлам, заменяющим мухе мозг, ученый присоединил микроэлектроды, которые передавали ее биотоки на обработку. Сначала их подавали на усилитель, а затем — в анализатор, где "обонятельные" биотоки отделялись от всех других. Почуяв ядовитый газ, муха начинала "генерировать" импульсы характерной формы, и анализатор немедленно включал сигнал тревоги.

Для "детектора запахов" (так ученый назвал созданный им "полуживой" или, точнее, "наполовину живой" прибор) Кей выбрал муху по ряду соображений: такой "датчик запахов" легко найти, биотоки мухи просто расшифровать, и, наконец, у этих насекомых превосходное обоняние. Да и в эксплуатации такой "прибор"

очень удобен: если живой "блок" выйдет из строя, в обычной коробке из-под спичек всегда можно хранить несколько десятков запасных.

И все-таки идея американского ученого — не решение проблемы. Во многих областях человеческой деятельности необходим надежный, быстродействующий, простой по устройству и удобный в эксплуатации универсальный прибор для анализа самых различных запахов. Парфюмер, например, имеет дело примерно с 350 запахами. Их нужно безошибочно различать, каждый в отдельности и в сочетании с другими, определять пропорции сочетаний, сортность аромата и т. п. А нельзя ли создать какое-нибудь обонятельное устройство, более объективное, чем орган обоняния человека (и к тому же более чувствительное), пользуясь достижениями современной науки и техники?

Над решением этой проблемы сейчас энергично работают бионики многих стран. Недавно был создан электронно-химический дегустатор, способный анализировать запахи и определять по ним сорта цветов, вин, табака, кофе, бензинов, медикаментов, пищевых продуктов, парфюмерных товаров. Искусственный нос представляет собой серию ионизационных детекторов, связанных с колонками для газовой хроматографии. Электронный "нос" совершеннее человеческого. Его можно применять для изучения запахов пищи, определения доброкачественности продуктов, а также в самых различных промышленных процессах. С его помощью можно даже попытаться выяснить, нет ли запахов в космосе.

Доктор Драникс из Чикаго разрабатывает метод диагностики различных заболеваний по запаху! Исследуемого помещают в стеклянный ящик длиною 2 м и шириною 70 см, в который непрерывно вводят воздух определенного состава. Отработанная смесь паров и газов подвергается анализу, в ходе которого определяют химические вещества, выделенные больным. Пока их обнаружено 24. Сейчас доктор Драникс пытается установить, какие из этих веществ свойственны здоровому человеку, какие являются спутниками различных заболеваний и каковы их концентрации. Исследователь надеется, что такой метод позволит осуществлять раннюю диагностику многих заболеваний.

В том же направлении работает сейчас и группа других ученых. Они разработали оригинальную установку — бутылку, позволяющую собирать и с помощью тончайшей аппаратуры анализировать запахи, выделяемые здоровым и больным человеком, и даже запахи той среды, в которой человек находился некоторое время назад. Последнее может, например,

иметь важное значение в криминалистике. Более конкретная задача — исследование запахов, привлекающих и отпугивающих насекомых — комаров, гнуса и другой нечисти.

Недавно ученые установили, что по запаху можно определить не только состояние здоровья человека, но и его возраст, пол, пищевой рацион и даже (приблизительно) район, в котором он постоянно проживает. И хотя работа в этом направлении находится лишь в стадии эксперимента, специалисты, занимающиеся разработкой ольфактроники — науки о запахах, вполне уверены, что благодаря совместным усилиям бионików и специалистов по электронной технике человек в будущем получит возможность различать запахи так же хорошо, как и собака, и, в частности, сможет отличать одного человека от другого по его индивидуальной, вполне четкой ароматической "подписи".

Сейчас мы получаем чуть ли не 7/8 всей информации от окружающего нас мира через органы зрения. Поэтому многие повседневные наши выражения восходят своими этимологическими корнями к зрительным ощущениям. Например, когда мы говорим "мироощущение", то подразумеваем под этим чаще всего "мировоззрение". Но когда бионика в содружестве с ольфа-ктроникой и электронной техникой научится моделировать созданные природой самые высокосовершенные живые системы обоняния и поставит их на службу человеку, перед ним по-новому откроется изумительный мир запахов во всей его красоте. И тогда наряду с привычными понятиями "мироощущение", "мировоззрение" прочное место займет в нашем лексиконе термин "мирообоняние".

Беседа седьмая. Искусные навигаторы

Это случилось весной 1961 г. Поздним вечером в одном из помещений Центра атомных исследований в Харуэлле (Англия) раздался телефонный звонок. Трубку взял дежурный отдела антирадиационной службы. Выслушав короткое сообщение, он немедленно связался с начальником аварийной команды. Через несколько минут, развивая бешеную скорость, по шоссе уже мчалась машина специального назначения. Она остановилась, завизжав тормозами, возле небольшой уютной виллы, принадлежащей известному английскому энтомологу профессору Кеттлвеллу. Причиной поднятой в Харуэлле тревоги оказалась... бабочка, по-латыни называемая номофилла ноктуэлла, принесшая во владения ученого источник интенсивного бета- и гамма-излучения.

Такой случай, несмотря на всю свою беспрецедентность, мог остаться и незамеченным, если бы не одна весьма интересная гипотеза, относящаяся к "биографии" номофиллы ноктуэллы. Дело в том, что эта бабочка встречается в двух разновидностях — темной и светлой. Поймать ее можно только в Англии и в Северной Африке. По мнению некоторых энтомологов, родиной светлой разновидности номофиллы ноктуэллы является Северная Африка. Здесь она появляется на свет и уже через несколько дней отправляется в грандиозное по дальности путешествие — к Британским островам. Тут она откладывает яички, из которых к концу лета появляется поколение, на сей раз с крылышками темного цвета. Осенью эти уроженцы Англии пускаются в дальний вояж — возвращаются на родину своих родителей, в Северную Африку.

Так ли все на самом деле? Ответить на этот вопрос еще совсем недавно, когда охотники за бабочками были вооружены только сачками да лупой, было очень трудно. Ведь номофилла ноктуэлла — бабочка довольно редкая; к тому же она ведет исключительно ночной образ жизни, а это затрудняет наблюдение за нею. Но сегодня энтомологи располагают многими весьма совершенными средствами для постановки своих экспериментов, в частности, например, такими, как радиоактивные изотопы и счетчики Гейгера. Ими-то и решил воспользоваться профессор Кеттлвелл для проверки правильности гипотезы о происхождении обеих разновидностей номофиллы ноктуэллы. Летом он опрыскивал раствором, содержащим

радиоактивный изотоп серы, листья растений, которыми питались гусеницы этой бабочки, а следующей весной проверял на радиоактивность бабочек, прилетавших из Африки. Для поимки бабочек энтомолог изготовил и установил на террасе в своем саду хитроумную ловушку. Это была ртутная лампа с фильтром, пропускавшим только ультрафиолетовые лучи. Ночные бабочки одна за другой летели на невидимый свет, а ученый, притаившись поблизости, ловил их сачками и к каждой пойманной номофилле ноктуэлле подносил прибор для измерения радиоактивности.

Но в весенний вечер, о котором идет речь, счетчик Гейгера долгое время упорно молчал. Ученому явно не везло, он даже начал терять надежду на удачу поставленного эксперимента. И вдруг в наушниках послышались резкие щелчки. Обрадовавшийся Кеттлвелл бросил беглый взгляд на шкалу дозиметра и оцепенел: стрелка прибора переползла предупредительную красную черту и указывала на величину радиоактивности, намного превышавшую дозу, опасную для человека! Опомнившись, ученый бросился к телефону и связался с дежурным в Харуэлле...

Ознакомившись с сложившейся обстановкой на месте происшествия, служащие аварийной команды с соблюдением соответствующих мер предосторожности (при помощи дистанционных манипуляторов) поместили радиоактивную бабочку в массивный свинцовый контейнер и перевезли ее в одну из лабораторий атомного центра. Там ее подвергли тщательному исследованию и вот что обнаружили: в голове номофиллы ноктуэллы застрял крохотный кусочек радиоактивного кварца. Он-то и являлся таинственным источником интенсивного бета- и гамма-излучения.

Где же бабочка приобрела это страшное "украшение"? Оказывается, как установили в Харуэлле, это была "память" о песчаной буре, в которую номофилла попала, пролетая над Сахарой, память о буре, вызванной взрывом французской атомной бомбы.

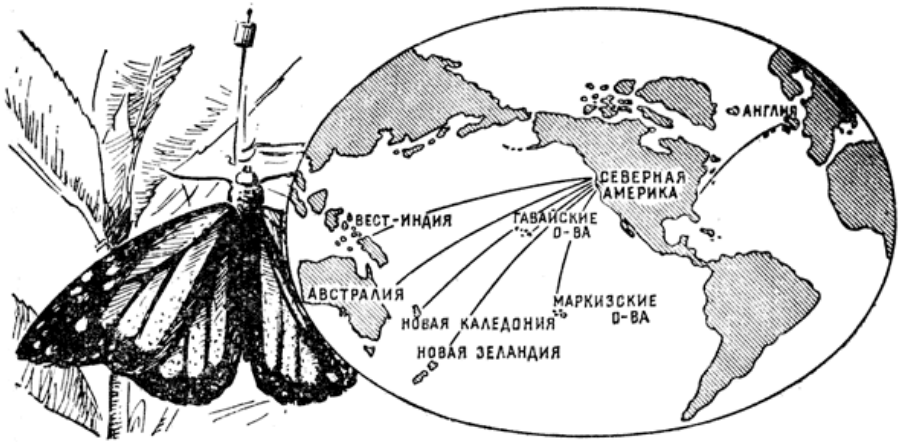


Рис. 1. Маршруты полетов бабочки монарх

Так чистая случайность позволила профессору Кеттлвеллу, посвятившему всю свою жизнь изучению бабочек, проверить правильность гипотезы относительно маршрута дальних перелетов номофиллы ноктуэллы.

Но номофилла не единственная бабочка, которую привлекают дальние дороги. Оранжево-коричневая бабочка монарх, обитатель Северной Америки, ежегодно совершает перелеты из холодных краев в более теплые. Из Канады, например, монархи направляются в Южную Калифорнию, Флориду и даже в Новую Зеландию, покрывая расстояния, превышающие 3600 км (рис. 1). При этом бабочки поднимаются высоко в воздух (до 120 м) и летят днем и ночью со скоростью 12 км/час. Иногда они отдыхают, опускаясь, распластав крылья, прямо на воду, а затем снова продолжают свой дальний и нелегкий путь.

Однако примеры с бабочками далеко не исчерпывают всех удивительных случаев искусной навигации, наблюдаемых в живой природе. Например, олени кари-бо все лето пасутся под неярким солнцем Северной Канады, но, когда в тундре наступает суровая зима, они уходят за тысячи километров на чужбину — к югу, в приполярную тайгу, чтобы с первыми лучами весеннего солнца снова вернуться на родину — на милый север. Сложные и длительные путешествия по безбрежным просторам Тихого и Атлантического океанов совершают гигантские морские черепахи: они проплывают для кладки яиц более 5500 га и с завидной для самого заправского штурмана точностью находят обратную дорогу домой. В науке известны факты кругосветных плаваний китообразных, когда они уверенно бороздят волны Мирового океана, путешествуя по земному шару из одного моря в другое.

Оказалось, что неплохими навигаторами являются и

пингвины, те самые смешные и добродушные, на первый взгляд неловкие и малоподвижные птицы, предмет наших беззлобных подтруниваний. В конце 1964 г. сотрудники советской южнополярной обсерватории Мирный перевезли самолетом на противоположный берег Антарктического материка сорок пингвинов. Ученые решили проверить способность этих удивительных животных ориентироваться на местности. И что же оказалось? Спустя год один из "переселенцев" вернулся "домой", в Мирный. Сквозь пургу и заносы, ледяные поля и моря снега, в полярную ночь и семидесятиградусный мороз, потеряв по дороге всех своих товарищей, прошагал он вдоль восточного побережья Антарктиды более 4500 км!

Даже такие крохотные существа, как муравьи, и те отлично ориентируются в пространстве. Так, они безошибочно находят среди густой травы на расстоянии сотни-другой метров свой муравейник, а ведь задача эта для них не менее сложна, чем, например, для карибо пробираться по пути к дому сквозь дремучий лес.

Поразительными штурманскими способностями обладают и многие домашние животные. Известен, например, такой случай. На окраине Тбилиси жила кавказская овчарка по кличке Цабла. Ее воспитателем и самым большим другом был ученик 2-го класса Сандро. Однажды отца Сандро, уполномоченного колхоза, попросили отдать Цаблу в хозяйство, расположенное далеко в горах: ведь кавказские овчарки умеют почти самостоятельно пасти овец. За собакой приехал чабан. С большим трудом оторвали Цаблу от Сандро, погрузили в автомашину и увезли в горы. Однако в самом конце пути Цабла вырвала веревку из рук замешкавшегося чабана и бросилась бежать. Между ней и Сандро лежали горы и долины, реки, особенно бурные в ту весну, селенья с чужими людьми и собаками, неприязненно встречавшими чужаков. Тысячи направлений открывались перед нею. Дороги Цабла, сидевшая в закрытой машине, разумеется, не видела. Ни слух, ни обоняние, ни тем более вкус подсказать ей ничего не могли. Осязание и мышечно-двигательное чувство — тоже: ведь собака не проходила этим путем, ее везли! И тем не менее через два дня ободранная и вконец отощавшая Цабла из последних сил перепрыгнула знакомую ограду. Как свидетельствует затраченное время, направление было выбрано ею безошибочно и пройдено почти по прямой — кратчайшим путем!

А птицы? В мире животных, пожалуй, нет более искусных навигаторов, чем пернатые. Есть у орнитологов такой специальный термин — "хоминг" (он происходит от слова "home" — дом). Означает он чувство дома, которое поразительно развито

у птиц и теснейшим образом связано с их чудесными навигационными способностями. Известны, например, факты, когда морских птиц увозили в открытое море за несколько сот километров и они возвращались к своим гнездам. Американских крачек снимали с гнезд, расположенных в районе Мексиканского залива, и выпускали на волю на расстоянии более тысячи километров. Через несколько дней их снова находили у своих гнезд. Возвращались к гнездам горихвостки и ласточки. Во время второй мировой войны стрижи, перевезенные из Швейцарии в Португалию, вернулись через три дня, покрыв расстояние в 1620 км. Скворцы, взятые из своих гнезд под Берлином и увезенные в самых различных направлениях, находили обратную дорогу домой с расстояния более 2300 км. Буревестник, пойманный в Англии и выпущенный в США, вернулся в свое гнездо через 12 дней, пролетев над неизвестным ему Атлантическим океаном более 5600 км! На самолете увозили аистов из Львова. Их выпускали в Палестине, куда они вскоре должны были лететь по своей воле. Но и они меньше чем за две недели возвращались домой. Проведенные не так давно опыты с альбатросами показали, что эти птицы, пойманные на атолле Мэдуэй и отвезенные затем в разные страны мира на расстояние 5000 — 6000 км, все-таки возвращались домой. Скорость их полета при этом составляла в среднем около 500 км в сутки. В приведенных примерах хоминга заслуживает внимания следующая любопытная деталь. Чтобы полностью исключить возможность "запоминания" птицами дороги в описанных опытах, их транспортировали в закрытых клетках, подвергали продолжительному вращению, даже наркотизировали, но, несмотря на это, "навигационный механизм" у подопытных птиц все же действовал с такой же точностью, как и у контрольных.

И, наконец, вершина навигационных способностей птиц, вечная загадка природы — сезонные перелеты (миграция) пернатых. Сотни деревенских ласточек, рядами сидящих на электрических и телеграфных проводах, — обычное явление для позднего лета. Птицам совершенно безразлично, что "бежит" под их лапками: электроэнергия или всевозможная информация. Но вот ласточки с громким щебетанием срываются с места, некоторое время кружат плотной стаей над соседними полями, а потом снова опускаются на провода, только несколько дальше. Отчего ласточки всей стаей так возбужденно перелетают с места на место? И почему они не собирались на проводах такими большими группами в начале лета? Если, не успев как-нибудь осмыслить эти факты, вечером наблюдатель вновь придет в эти места, то на проводах уже никого не будет. И можно проехать

многие километры по сельским дорогам, внимательно осматривая такие же провода, чтобы убедиться — ласточки исчезли. Они улетели, улетели за тысячи километров, к югу, в тропики, чтобы, пережив суровую зиму на чужбине, в конце апреля все-таки вернуться домой.

Можно привести много примеров сезонных перелетов птиц и замечательного навигационного искусства, проявляемого ими при этом. Птицы летят над океанами и пустынями. И даже горы не могут заставить пернатых свернуть с выбранного ими пути. Однажды перелетную стаю гусей случайно удалось сфотографировать над высочайшей вершиной мира — Эверестом, или Джомолунгмой, как ее теперь чаще называют. Вот куда забрались птицы — на высоту почти 9 км. Забрались, но не свернули с пути. Тысячи опасностей встречаются им в дороге. Сверху набрасываются ястребы и орлы. Снизу гремят выстрелы охотников. Даже в минуты короткого отдыха нет покоя: может подкрасться какой-нибудь зверь. Горизонт затягивает туман. Крылья тяжелеют под дождем. Налетают бури и уносят птиц далеко в сторону. Но они упорно прокладывают путь по своему курсу. Бекасы, гнездящиеся в Японии и зимующие в Восточной Австралии, пролетают над океаном 5000 км. При этом значительную часть пути они преодолевают ночью, почти в полной темноте, и тем не менее не сбиваются со взятого направления. Североамериканская золотистая ржанка каждую осень совершает перелет из места гнездования в Северной Канаде на зимовку к Гавайским островам. Эта птица не имеет перепонок на лапах, поэтому она даже не может отдыхать на воде, как водяные птицы. Чтобы достичь своей цели, она вынуждена лететь непрерывно в течение нескольких недель над океаном. Малейшее отклонение от курса грозит ей тем, что она "проскочит" мимо цели, затеряется в океанских просторах и погибнет от истощения. Но этого не происходит. Меняется ветер, сбивая ржанку с пути, ночь опускается над морем, утром встает над водой туман. Но крошечная птичка уверенно выходит к цели, словно ее привел самый точный и верный компас, о котором мы, люди, можем только мечтать. Но, пожалуй, самой удивительной и дальней является дорога полярной крачки, небольшой птички с длиной тела всего около 35 см (рис. 2). Когда в Арктике наступает зима, крачки отправляются на юг. Они летят вдоль берегов Европы, потом вдоль берегов Африки. Тут раздолье для птиц. Но крачки летят все дальше и дальше. Они не успокаиваются, пока не забелеют впереди вечные снега Антарктиды. Тут как раз к этому времени наступает лето, конечно, весьма относительное. Но крачкам это и надо. Они зимуют у подножья ледников. Каждый

год им приходится пролетать до 60 000 км. Дорога от арктических островов до скал Антарктиды только в один конец занимает около трех месяцев. Половину жизни крачки проводят в пути, половину — среди снегов: то в Арктике, то на другом конце Земли, в Антарктике.

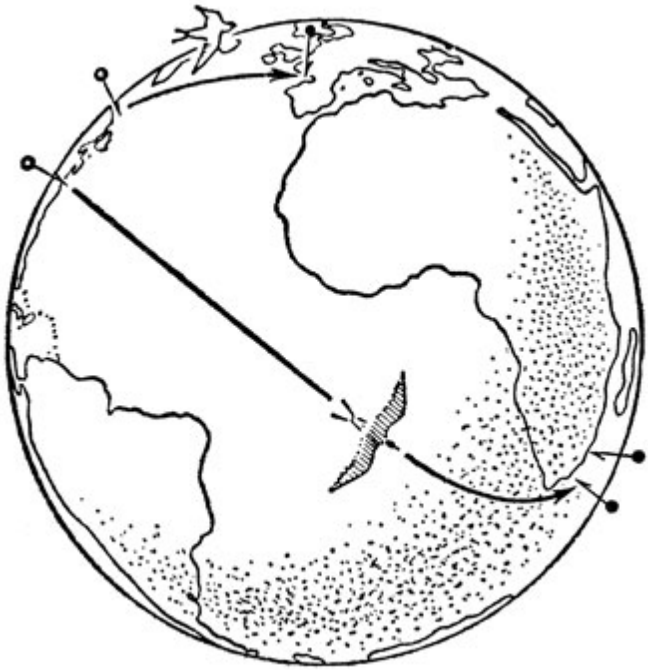


Рис. 2. Перелеты окольцованных полярных крачек (по Д. Гриффину). Пункты кольцевания молодых крачек на побережье Северной Америки отмечены булавками с белыми головками, а места, где они были обнаружены через несколько месяцев, — булавками с черными головками

Таковы факты, свидетельствующие об ориентации различных животных. Эти факты подчас весьма любопытны, иногда неожиданны, но они вроде бы и не содержат ничего необычного: ориентируется в пространстве человек, ориентируются и животные — что же здесь особенного? А если вдуматься? Человек — с его разумом, волей, талантом, человек — создатель Сикстинской мадонны и космического корабля и... маленькая пичужка или крошка муравей. Ну что же тут общего? И тем не менее человек — это, как мы привыкли считать, чудо природы — может ориентироваться в пространстве только с помощью секстанта, хронометра, навигационных таблиц и, конечно, знаний, которые приобретаются в течение многих месяцев упорного труда. И при этом он часто путается и ошибается. Не

так давно, в конце XIX века, ошибки людей при ориентации достигали нескольких десятков километров. Да и сейчас, после усовершенствования секстанта и хронометра и появления средств радионавигации, когда точность ориентации возросла до 100 — 400 м, корабли и самолеты нет-нет, да и сбиваются с намеченных курсов (особенно во время магнитных бурь). А если лишить современного человека привычных ему приборов? Ведь он тогда может заблудиться, как говорится, и в трех соснах.

Другое дело — животные. И поэтому их навигационные способности не просто любопытны и неожиданны, но и, скажем прямо, феноменальны, а следовательно, достойны самого пристального внимания, изучения и, может быть, подражания. Да, да, именно подражания. И не случайно об устройстве "механизмов навигации" животных ныне спорят сотни крупнейших ученых мира, их изучением занимаются многие кафедры учебных институтов и университетов, десятки широко известных научно-исследовательских организаций, вплоть до Морского и Авиационного ведомств США и даже Национального управления США по аэронавтике и исследованиям космического пространства.

Так как же работает "система" ориентации у животных, когда не видна ни сама цель, ни прилежащие к ней ориентиры? Где они прячут свой загадочный "компас"? И в чем все же секрет идеальной точности действия "механизма навигации" животных?

Однако ответить на все эти вопросы оказывается не так-то просто. Начнем с того, что систематические наблюдения за ориентацией морских животных, рыб и членистоногих (муравьев, пчел, паукообразных) сопряжены со значительными трудностями. Попробуйте, скажем, проследить за путешествиями, совершаемыми осетровыми от американских рек до берегов Гренландии. Еще сложнее изучить подводные "одиссеи" европейских угрей: они выходят из рек в Балтийское море, пересекают Северное море и Атлантический океан и нерестятся у Бермудских островов. Не менее трудно проследить и "марафонские" заплывы морских черепах. Они "стартуют", например, в Китайском море, а "финишируют" у берегов Малайи, откладывая там яйца. Вообще говоря, для систематических наблюдений птицы представляют собой более, благодарные объекты, хотя и здесь не все обстоит так уж благополучно, как хотелось бы, ведь не случайно же миграция и хоминг птиц считаются одними из сложнейших проблем биофизики. Дело в том, что изучать привычки птиц тоже нелегко. Ясно, что для этой цели птиц надо наблюдать в основном в природе. А как это сделать, если они порхают с места на место? Одни осенью далеко

улетают, другие, наоборот, прилетают к нам зимовать. Одни летают днем, другие — только по ночам. Есть птицы кочующие, например серые куропатки. Они перебираются на зимовку неподалеку, в соседние районы. Но в других местах те же куропатки никуда не улетают, ведут "оседлый" образ жизни. А в Юго-Западной Сибири это перелетные птицы. Попробуй тут разберись. Но ученые понемногу разбираются в этом хитросплетении птичьих загадок. "Господь бог хитер, но не злонамерен!" — пошутил как-то А. Эйнштейн. Природа хотя и неохотно, но все же расстается со своими тайнами, в том числе и с тайнами "птичьей навигации". Как же исследуют ученые маршруты пернатых, скорость, дальность и продолжительность их перелетов? Прежде всего, конечно, методом кольцевания — самым старым методом, известным орнитологам еще в древности и тем не менее широко применяемым и в наши дни. Пойманной птице надевают на лапку кольцо, обычно алюминиевое, легкое и нержавеющее. На нем есть номер и условный краткий адрес научной организации, занимающейся кольцеванием. Потом, сделав отметку в журнале наблюдений, птицу выпускают. Когда ее снова поймают, быть может, через несколько лет и где-нибудь в далеких краях, кольцо вернут по указанному на нем адресу. Оно о многом может рассказать ученым.

Значительно позже кольцевания, в начале XX века, австрийский ученый Экснер ввел в практику метод измерения времени нахождения птицы в полете, основанный на испарении камфоры из трубки, прикрепленной к птице. В 1950 г. англичанин Уилкинсон для той же цели использовал закрытый цилиндр, на одном конце которого был расположен источник радиоактивных частиц, а на другом — фотоэмульсия. Между ними размещался шарик, закрывающий поток излучения, когда трубка находилась в вертикальном положении. Эта трубка привязывалась к крылу, и все взмахи крыла, а следовательно, и время полета отмечались на фотоэмульсии.

Начиная с 1943 г. по инициативе известного американского биофизика Дональда Р. Гриффина для наблюдения за летящими птицами с воздуха стали систематически использоваться легкие самолеты, следующие за стаями на достаточно большом расстоянии. Наконец, примерно в то же время — в конце второй мировой войны — повышение мощности и разрешающей способности радаров позволило использовать их для наблюдения за птицами. Следует еще заметить, что, наряду с наблюдениями птиц на воле, для выяснения механизма их ориентации огромное значение имеют еще и специальные лабораторные эксперименты, подчас весьма сложные и тонкие. А все эти исследования, вместе

взятые, помогают ученым установить множество интересных и важных фактов, так или иначе связанных с природой навигации у птиц и в конечном итоге высказать ряд научных гипотез и даже разработать теории, объясняющие физиологические механизмы навигации. Но лучше все-таки по порядку. И сначала, пожалуй, о гипотезах. Потому что нередко для решения какой-нибудь научной проблемы, и особенно такой сложной, как навигация птиц, полезно немного отвлечься и посмотреть на проблему несколько шире, начиная с самых азов, а быть может, даже с повторения первоначального пути проб и ошибок. Ведь бывает же и так: некоторые, вроде бы явные на ранних стадиях исследования нелепости впоследствии звучат чуть ли не как гениальные пророчества. Пожалуй, здесь будет уместно вспомнить, что писал Даниил Гранин об эволюции открытия: на первой стадии "Это невероятно!", на второй "В этом что-то есть...", и в конце "А кто в этом сомневался?!" И в шутке этой, безусловно, заложен здравый смысл. Итак, о различных гипотезах ориентации птиц при миграции и хоминге, в том числе и о самых древних из них.

В середине прошлого века известный русский ученый, академик А. Ф. Миддендорф выдвинул так называемую магнитную гипотезу ориентации птиц. Птицы чувствуют, в каком направлении находится магнитный полюс, считал он. Это помогает им найти Путь осенью на юг, весной — на север. И эта гипотеза нашла своих приверженцев даже в паши дни. Французский физик Вигье высказал предположение, будто бы "магнитное чувство" у перелетных птиц развито так сильно, что они могут ощущать не только общее направление на полюс, но даже учитывать магнитное склонение. Поэтому они способны прямым путем вернуться к цели из любого места. Однако все это надо было еще доказать. Начались хитроумные опыты. Птиц помещали в особые камеры и создавали вокруг них сильные магнитные поля. Пернатые пленники чирикали, клевали зерно, но никакого особенного беспокойства не проявляли. Чувствуют ли они магнитные поля, понять было трудно. Польский орнитолог Водзицкий прикреплял к головам аистов, улетавших на зимовку, небольшие намагниченные железные палочки. По мысли ученого, они должны были нейтрализовать влияние магнитного поля Земли. Аисты относились к этому весьма неодобрительно и всеми силами старались поскорее избавиться от "нагрузки". Но почему они это делали, так и осталось неясным: то ли действительно привязанные магнитики не давали им ориентироваться, то ли просто мешали.

В 1947 — 1951 гг. сходные эксперименты были поставлены

американским физиком Егли. Наблюдения за почтовыми голубями с магнитными и немагнитными (медными) пластинками на крыльях производились с самолета. В результате проведенных опытов Егли установил: птицы с магнитными пластинками на крыльях отклонялись от правильного пути в среднем на 103°, с медными — всего на 84°. Разница, как мы видим, не столь значительна, чтобы делать заключение в пользу магнитной ориентации голубей, хотя Егли и держался противоположного мнения. Большинство же ученых отнеслось ко всем этим опытам явно скептически. — Магниты на крыльях еще ничего не доказывают, — говорили они. — Водзицкий привязывал железные палочки к головам аистов, и то птицам было неудобно летать. А тут маленький голубь... Ведь известно, что перед соревнованиями на дальние дистанции голубям не следует давать больше чем 20 — 25 г зерна во избежание сильного снижения их скорости. Так что какая уж тут ориентация с пластинками на крыльях! Что же касается прямых доказательств магнитной и электромагнитной чувствительности пернатых, то мнения об этом еще более противоречивы. По сведениям, исходящим в основном от голубеводов-любителей, считалось, что голуби теряют способность ориентироваться в зоне действия мощных электро- и радиостанций. Подобные сообщения особенно участились после появления мощных радиолокационных установок. Было представлено много на первый взгляд вполне убедительных доказательств того, что радиолокационные станции нарушают работу неизвестного нам "компаса", управляющего перелетами птиц.

Но есть и другое, скажем прямо, противоположное, мнение. Так, советский ученый, кандидат биологических наук В. Э. Якоби утверждает, что сообщения об "электромагнитной чувствительности" пернатых все-таки практикой не подтверждаются. При этом он ссылается на наблюдения, проводившиеся над птицами в Туркмении, Прибалтике и на юге Украины. В Туркмении неподалеку от работавшей радиолокационной установки стоял домик, на чердаке которого жили домашние голуби. Они часто летали мимо радара в непосредственной близости от него, но строй стаи при этом не нарушался. Есть факты, свидетельствующие о полном пренебрежении излучением радара мелкими птицами. Воробьи и скворцы, например, садились на вращающуюся антенну и совершали на ней 8-10 оборотов, а ведь они находились при этом в опасной даже для человека близости к излучателю! Более того, известно, что скворцы даже устраивают гнезда в пустотелой металлической балке антенны локатора. К сказанному можно еще

добавить, что в опытах по использованию радарного излучения для отпугивания птиц от аэродромов, проводившихся за рубежом, эффекта рассеивания птиц не отмечалось.

Отрицают "электромагнитную чувствительность" пернатых и многие зарубежные ученые: выдающийся немецкий орнитолог Крамер, американский исследователь Друри, англичане Иствуд и Райдер и итальянец Маргариа... Казалось бы, все ясно: гипотеза магнитной ориентации птиц Миддендорфа полностью несостоятельна, поскольку не удалось убедительно обосновать даже примеры предполагаемой магнитной чувствительности пернатых. Но... Ах, уж это "но"!

Интересные данные были получены в последние годы отдельными учеными при экспериментальной проверке "магнитного чувства" у ряда насекомых. Так, западногерманский ученый д-р Гюнтер установил, что мухи ориентируются в магнитном поле Земли: в 90 случаях из 100 они садятся на горизонтальную поверхность либо в направлении восток — запад, либо в направлении север — юг. То же наблюдается и у майских жуков. В научной литературе неоднократно упоминалось, что во время "отдыха" в гнезде термиты всегда располагаются головами в одном и том же направлении. Достоверность этих данных недавно решил проверить немецкий ученый Г. Беккер. Он начал наблюдать за поведением термитов в темноте и обнаружил, что некоторые их разновидности действительно занимают в гнезде совершенно определенное положение. Одни виды термитов располагаются параллельно силовым линиям магнитного поля Земли, другие — перпендикулярно. Когда же термитов поселили в металлический ящик, чтобы устранить влияние магнитного поля, термиты стали располагаться как попало, определенность ориентации исчезла. Но когда термитов поместили в поле мощного магнита, они изменили ориентацию в соответствии с направлением силовых линий нового магнитного поля. Аналогичные опыты по исследованию магнитной чувствительности проводились с улитками (американский ученый Ф. Браун) и червями. Все эти опыты оказывались неизменно удачными. И то, что экспериментами и наблюдениями удалось установить способность мух, термитов, улиток, червей и других организмов воспринимать незначительные изменения в направлении и силе магнитного поля, безусловно является знаменательным. С одной стороны, это показывает (в который раз!) изумительное мастерство природы, сумевшей наделить насекомых сверхминиатюрными, надежными и удивительно тонко действующими "механизмами" ориентации; с другой стороны, говорит о том. что сегодня все-таки нельзя начисто, со

всей категоричностью, как это делают некоторые исследователи, отвергать гипотезу о способности ряда организмов ориентироваться по силовым линиям магнитного поля Земли.

Ну, а как же быть с гипотезой магнитной ориентации птиц? Может быть, в ней все-таки содержится что-то позитивное? Но что? К сожалению, современная наука пока не может дать убедительного ответа на этот вопрос. Но гипотеза Миддендорфа в настоящее время существует, существует и даже имеет своих убежденных сторонников. Но наряду с ней есть еще и ряд других гипотез, тоже пытающихся объяснить природу ориентации птиц уже с иных, порой довольно неожиданных, но неизменно любопытных позиций. И от каждой из этих гипотез, как и от магнитной, нельзя вот так, запросто, отмахиваться, если какие-то данные в чем-то и не подтверждают ее. Как правило, все они, эти гипотезы, одни в большей степени, другие в меньшей, все же несут те крупицы истины, которые когда-нибудь, сложившись, расскажут нам о сокровенных тайнах навигации птиц, а может быть, и не только птиц...

Вот, к примеру, так называемая "тепловая" гипотеза миграции пернатых. Как известно, места летнего пребывания птиц находятся, как правило, в районах, более прохладных, чем места зимовок. Теперь физики хорошо знают, что любой предмет испускает электромагнитные волны, интенсивность и длина которых зависят от температуры источника. При этом холодные объекты испускают более длинные волны меньшей интенсивности. Таким образом, арктические области, куда птицы летят весной, излучают меньше энергии, чем тропики. Допустим, что у птиц есть рецептор, позволяющий им воспринимать более "теплые" лучи с юга. До чего же просто было бы объяснить в этом случае миграцию птиц! Но если попробовать детальнее разобраться в этом вопросе, то обнаружатся серьезные трудности. Прежде всего, Земля имеет почти круглую форму, а всякое излучение распространяется прямолинейно. Поэтому трудно предположить, чтобы птицы могли улавливать излучение на расстояниях от его источника, больших нескольких десятков километров. Кроме того, температура воздуха, суши и моря достаточно низка и их инфракрасное, или тепловое, излучение имеет длину волны порядка 10 мк, тогда как длины волн видимого света лежат в области от 0,4 до 0,75 мк. Как показало изучение зрительного анализатора птиц, граница его спектральной чувствительности очень близка к нашей собственной. Отсюда следует, что, вероятней всего, птицы не могут чувствовать излучение, на восприятии которого основана данная гипотеза. Ну и что же? По-видимому, "тепловая" гипотеза

просто не может объяснить основной механизм ориентации пернатых. Но выявление побочных факторов ориентации — ведь это тоже так важно и интересно!

Другая очень остроумная гипотеза так называемой инерциальной навигации птиц была выдвинута после второй мировой войны шведским физиком Густавом Изингом. Он предположил, что птицы могут обладать чувствительностью к чисто механическим (инерциальным) эффектам вращения Земли, причем не просто реагировать на них, но и улавливать их разницу в самых разных точках земного шара. Эта теория приняла внешне несколько различных форм, но при их сравнении оказывается, что все они сводятся, по сути дела, к одной. При движении птицы по тому или иному курсу на нее обязательно должны действовать две силы, обусловленные вращением земного шара: сила центробежная, уменьшающая собственный вес птицы, и так называемая кориолисова сила, направленная перпендикулярно движению птицы вдоль земной поверхности. Интересно, что в разных точках земного шара величина центробежной и кориолисовои сил, а также их соотношения различны, что и может быть использовано птицами для ориентировки. При этом предполагается, что центробежную силу птица может почувствовать по изменению собственного веса. Датчиком же изменения кориолисовои силы у птиц, по мнению американского исследователя Егли (сторонника магнитной гипотезы), может служить лабиринт вестибулярного аппарата. К сожалению, инерциальную гипотезу навигации птиц очень трудно проверить на опыте. Поэтому единственное возражение противников этой гипотезы (а они, конечно, есть!) сводится к тому, что центробежная и кориолисова силы, возникающие при движении птицы, настолько малы, что последнюю силу трудно отличить даже от воздействия броуновского движения молекул в ее вестибулярном аппарате. Но скептикам при желании можно и возразить. Как говорится, ни одна музыкальная нота не исключает другую — слышны обе. В отличие от броуновского движения, центробежная сила и сила Кориолиса постоянно и определенным образом направлены. Может быть, именно это и помогает птице при ее направленных полетах? Но кто может однозначно ответить на этот вопрос!

А вот еще одна гипотеза, пожалуй, самая простая из приведенных, но тем не менее ни в коей мере не лишенная смысла, — гипотеза наследуемости навигационных способностей. И подтверждается она в какой-то мере некоторыми парадоксальными направлениями, которые избирают птицы при перелетах. Почему, например, водоплавающие птицы летят через

безводные пески Сахары? Вероятно, когда-то, может быть, в четвертичный период, проходила через эти места цепь водоемов, которые постепенно высыхали. И когда водоемы исчезли совсем, птицы по традиции продолжали — и по сей день продолжают — летать в том же направлении. Может быть, это инстинкт заставляет их летать "неудобными" безводными путями? Но, как установили ученые, надеяться на постоянство птичьих привычек особенно не приходится. Был проведен такой оригинальный опыт. Дикие утки, обитающие в Англии, ведут оседлый образ жизни. Утки же, обитающие в Финляндии, перелетают зимой на запад Средиземного моря. Орнитолог взял яйца английских оседлых птиц и подложил их к сестрам на Карельском перешейке, в Финляндии. Там из них вылупились утята, ставшие почти домашними. Однажды, спустя месяц после отлета "финских" уток на юг, в небо поднялись утки, вылупившиеся из "английских" яиц. Эти окольцованные птицы летели над теми же краями, которые обычно пересекают утки из Финляндии, и добрались до места зимовки своих приемных родителей. Весной следующего года большинство "англичан" вернулось в Финляндию, где они родились, причем ни одна из 86 окольцованных уток в Англии не появилась. Так "инстинкт" оказался сломанным в течение одного поколения — птицы стали жить по законам новой для них родины. Но почему же все-таки птицы летят именно над Сахарой? Может быть, в природе и не существует других путей для миграции? Или по советам дедушек или бабушек? Или потому, что нет вблизи водоемов, которые заставляли бы птиц изменить свой путь? Подлинная головоломка! Играет ли все же свою роль наследственность в механизме биологической навигации? "И да, и нет!" — отвечает, например, на это известный немецкий исследователь пчел профессор Карл фон Фриш. "Нет" — это, по всей вероятности, относится к выбору конкретного маршрута перелета. Но сама способность выбирать... Выбирать тот или иной маршрут, а затем неуклонно его придерживаться... Безусловно, к этому пернатые предрасположены. Иначе и не может быть. Это дается им от рождения, заложено самой природой... Но что же все-таки "это" и где оно скрыто? Как много различных гипотез относительно навигационного механизма у птиц: "магнитная" "тепловая", "инерциальная", "наследственная"... И ни одна из них еще не опровергнута, да, пожалуй, и не может быть полностью опровергнута: ведь все они, хотя бы в чем-нибудь, да верны. Но беда всех гипотез в том, что они объясняют или могут объяснить некоторые второстепенные факторы механизма ориентации. А где же главные пружины этого таинственного механизма? Пока они скрыты от нас, хотя и чувствуется, что разгадка великой тайны

ориентации где-то совсем рядом... Ведь, безусловно, какие-то элементы внешней среды должны помогать птицам при выборе определенного направления во время перелетов. Что-то во внешнем мире обязательно должно быть связано с этим направлением, как правило, северным — весной и южным — осенью. И если поставить себя на место птицы, то трудно представить, как можно найти дорогу без специальных приборов. И, пожалуй, мало при этом иметь какой-нибудь внешний ориентир. Он был бы бесполезен, если бы у птиц не было соответствующих рецепторов.

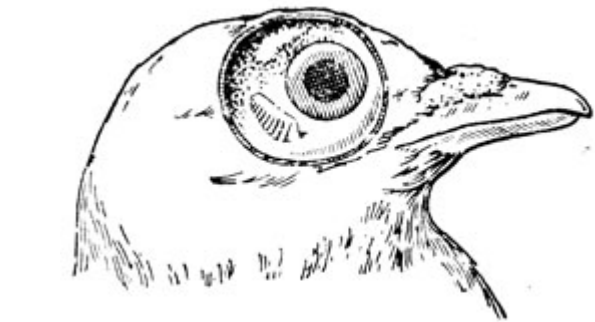


Рис. 3. Голова птицы с удаленными Оперением, кожей и частью глазного яблока (по Д. Гриффину). Обратить внимание на величину глаз у птицы

И вот здесь и возникает счастливая идея обратиться к изучению сенсорных аппаратов пернатых — их органов чувств, о которых мы пока знаем, оказывается, слишком мало, чтобы делать какие-либо категорические выводы. Начинается тщательное изучение органов чувств и нервной системы птиц в поисках той специализации, которая могла бы быть связана со способностью птиц совершать дальние перелеты. Осязание было исключено из рассмотрения сразу же. Затем было показано, что обоняние у птиц развито чрезвычайно слабо, примером чему может служить, например, виргинский филин, который охотно поедает скунсов, несмотря на отвратительный запах, издаваемый ими. Многие птицы превосходно слышат, а также способны воспринимать даже очень слабые колебания почвы или предмета, на котором они сидят. Ну и, наконец, зрение птиц. Сразу же привлекает внимание то, что глаза у птиц очень велики относительно общих размеров головы (рис. 3). Поле зрения глаза у птиц втрое больше, чем у человека. К тому же, в отличие от человека, оба зрительных анализатора действуют у птиц независимо. Благодаря боковому расположению глаз общее поле зрения у них достигает 300°! Это уже в шесть раз больше, чем у

человека, неспособного независимо воспринимать объекты каждым глазом в отдельности; напомним, что участком наиболее острого зрения является так называемое желтое пятно. В глазу человека имеется только одно такое пятно, в глазу птиц их по два, а у некоторых видов, даже по три. Напомним еще, что длинноволновые желтые и красные лучи дальше проникают сквозь туманную дымку, чем более коротковолновые зеленые и синие. Как известно, в инфракрасных лучах можно делать фотографические снимки и в темноте с расстояния в несколько километров. Возможно, что, обладая особой чувствительностью к такому излучению, птицы, летя над Средиземным морем, даже в туман или ночью могут с большой высоты видеть берег Африки. Один из исследователей попытался вычислить, как далеко способны видеть птицы в хорошую погоду при разной высоте полета. Оказалось, что уже с 200 м видимость превышает 50 км. А поднявшись под облака на 2000 м, птицы смогут увидеть все вокруг в радиусе 160 км. С такой высоты перепела, летящие из наших степей на зимовку, миновав Крым, уже вскоре могли бы разглядеть берега Турции.

Исходя из сказанного выше, можно предположить, как это сделал Гриффин в 1944 г., что ориентация птиц (а может быть, и не только птиц!) — процесс комплексный, в котором участвуют почти все органы чувств, а также какие-то другие, пока не до конца ясные нам механизмы (пожалуй, здесь будет уместно вспомнить и о гипотезах, изложенных выше). Владея таким совершенным способом передвижения, как полет, птицы, несомненно, "знают" гораздо больше нашего о свойствах воздушного океана и поверхности нашей планеты. Воздушные течения, изменения температуры и влажности, конфигурация материковых масс воды, различный характер облаков над различными поверхностями — все это, несомненно, снабжает летящую птицу многочисленными "ключами", помогающими ей ориентироваться. Например, одним из косвенных доказательств ориентации голубей по топографическим признакам может служить опыт Гриффина, который предсказал направление отлета голубей вдоль берега озера, похожего на озеро около их голубятни, хотя такой полет вел их в сторону, противоположную от дома. Интересно еще в том же плане отметить, что голуби из голубятен, расположенных в небольших населенных пунктах, при выпуске в незнакомом месте устремлялись вскоре после выпуска к окраине другого города, сходной с их родным домом.

Но достаточно ли всего этого для полного понимания природы навигационного механизма у птиц? А как же тогда можно объяснить ряд приведенных выше примеров

замечательных перелетов, совершаемых крачками и аистами, ржанками и альбатросами?

Вот тут-то и вспомнили ученые об особенностях зрения птиц, дающих им вполне реальную возможность определять направление в полете не только по наземным ориентирам, но и по небесным светилам.

Самые первые упоминания о возможном использовании Солнца для навигации птиц относятся к 1906 г. (Шнайдер) и 1926 г. (Вахс). Однако только в начале 50-х годов были разработаны две довольно убедительные теории солнечной навигации пернатых. Автором одной из них был Густав Крамер из Вильгельмсгафена в Германии, тот самый Крамер, который в свое время так скептически отнесся к выдвинутой некоторыми исследователями гипотезе "электромагнитной чувствительности" птиц; другая теория была предложена Джоффри Мэтьюзом из Кембриджского университета в Англии.

Как известно, суть любой ориентации по Солнцу заключается в определении необходимого направления по положению Солнца в любое время дня. Чтобы добиться этого, люди после долгих поисков изобрели секстант и хронометр. Потом, пользуясь результатами наблюдений Солнца, человек должен выполнять сложные вычисления с помощью специальных таблиц, где учтены поправки к видимому положению небесного светила, которое меняется в зависимости от времени суток и года. А птицы, оказывается, проделывают это моментально, не имея даже низшего образования и не располагая никакими инструментами! Как же это им удается? Оказывается, у птиц есть свой хронометр, удивительные "внутренние часы", как назвал их Крамер.

Чтобы ориентироваться по Солнцу, нужно точно знать время дня. Естественной мерой времени являются сутки. Мы умеем делить их и на более мелкие отрезки времени, применяя часы. И птицы, оказывается, тоже могут каким-то образом вести счет времени. Экспериментируя, Крамер создавал для голубей и скворцов искусственные сутки. Молодых, только что вылупившихся из яиц птенцов помещали в большую клетку, закрытую от солнечного света. Пленники росли под искусственным солнцем — сильной электрической лампой, которая перемещалась так же, как и настоящее светило. Пока искусственное солнце двигалось строго синхронно с подлинным, "внутренние часы" птиц работали нормально. Выпущенные на волю пленники, никогда не видевшие настоящего Солнца, легко ориентировались по его положению на небе и находили дорогу к родному гнезду. Но часть птиц исследователь "обманул". Слегка ускорив движение лампы, озарявшей клетку, ученый как бы

"укоротил" сутки. За стенками клетки Солнце совершало свой полный круговой путь за 24 час. А искусственное солнце — за 22 час. И размеренный ход "внутренних часов" у птиц оказался нарушенным. Они привыкли к новому ритму времени и, когда их освободили, стали ошибаться в выборе направления. Спешащие "внутренние часы" не давали им правильно определять поправку на смещение солнечного азимута. Ученый повторял свои опыты снова и снова, видоизменяя и варьируя их в деталях. Выводы были такими: птицы действительно ориентировались по положению Солнца, внося необходимые поправки по своим "внутренним часам". Крамеру даже удавалось заранее предсказать, насколько отклонится от правильного курса птица, выросшая под таким искусственным солнцем. Это зависело от величины сдвига искусственного суточного цикла по сравнению с природным. Сдвиг времени на 6 час заставлял птиц отклоняться от правильного направления на целых 90°, т. е. точно на $^1/_4$ окружности! Чтобы добиться такой сильной перестройки "внутренних часов", оказалось достаточным продержать птиц под искусственным солнцем от четырех до двенадцати дней.

Исследования последнего времени показали, что "внутренние биологические часы" есть, видимо, вообще у всех живых организмов. Они мерно "отсчитывают время" в растениях, подсказывают тропическим червям палоло, когда подниматься из вечной тьмы океанских глубин навстречу восходящей полной Луне, подают команду крабам бесчисленными полчищами выходить на берег...

В свете накопленных фактов становится, наконец, понятным, почему птицы часто сбиваются с пути, когда небо закрыто тучами. Хотя, спустившись ниже облаков, пернатые странники могут видеть Землю, по пользоваться солнечным компасом им становится уже трудно. Значит, определение направления по Солнцу важнее простой зрительной ориентации по знакомому ландшафту. Такова в основных чертах суть теории Крамера, который считал, что при ориентации птиц направление определяется ими по углу между проекцией на горизонтальную плоскость наблюдаемого положения Солнца и направлением полета.

Его теория удивительно смела, оригинальна и, главное, правдоподобна. Но чего-то в этой стройной и красивой теории все же не хватало... "Есть два типа ориентации птиц, — писал американский ученый Д. Гриффин, — направленная и целенаправленная". При направленной ориентации птица придерживается какого-то одного направления. Проявлялась эта ориентация в основном при перелетах и была так блестяще

объяснена Крамером, Гофманом и другими исследователями. Целенаправленная же ориентация — это способность птиц не только придерживаться какого-то направления, но и чудесным образом выбирать его, как это бывает при хоминге... Целенаправленную ориентацию значительно труднее объяснить, чем направленную. И Крамер это отлично понимал. Он совершенно справедливо указывал, что птицы пользуются для ориентации Солнцем точно так же, как люди компасом. Но компас, как мы знаем, совершенно бесполезен, если неизвестно направление, в котором надо двигаться. И поэтому обычно мы пользуемся компасом вместе с картой или опираясь на наше знание местности, что, в сущности, одно и то же.

А птицы? До своей трагической гибели в горах Крамер неоднократно подчеркивал, что биологи могут объяснить, лишь каким компасом пользуются птицы, но не какой картой. Другими словами, он уже чувствовал ограниченность своей теории солнце-компасной ориентации и думал об ее усовершенствовании. Но об этом думал не он один. Столкнувшись с этими же фактами, Мэтьюз полагал, что Крамер был все-таки прав в основной части своей теории солнце-компасной ориентации. Вот только сам механизм использования птицами дневного светила у Крамера был, с точки зрения Мэтьюза, недостаточно совершенен. И Мэтьюз заключил, что птицы, по всей вероятности, могут не только находить угол между направлением полета и проекцией наблюдаемого положения Солнца, но и сравнивать высоту Солнца над горизонтом в данном месте с высотой, на которой оно должно находиться у них дома. Птица, ориентируясь, пожалуй, должна рассуждать примерно так: "Судя по моим биологическим часам, сейчас раннее утро, но Солнце стоит что-то слишком высоко — значит, я нахожусь либо на юге, где Солнце в это время стоит выше, либо на востоке, где оно раньше всходит". Вероятно, нет смысла дальше решать эту задачу по геометрии. Можно лишь допустить, что птица, догадавшись о столь многом, решила действовать наилучшим образом в ситуации, когда известно только то, что она находится где-то между востоком и югом. Это можно сделать, только определив отклонение в положении Солнца и направившись прямо на северо-запад.

Таким образом, благодаря работам Крамера, Мэтьюза и других исследователей появилась какая-то ясность в способе ориентации птиц в дневное время. Однако способность пернатых ориентироваться ночью после захода Солнца по-прежнему оставалась загадкой.

И вот тогда-то, по аналогии с солнце-компасной теорией, и возникло предположение о ночной ориентации птиц по звездам

— так называемая звездно-компасная гипотеза. В самом деле, не указывают ли звезды пернатым правильный путь точно так же, как это делает Солнце днем? На этот сложный вопрос достаточно убедительно и просто ответили немецкие орнитологи супруги Зауэр, ответили своими выдающимися опытами с певчими птичками семейства славковых. Славки обитают в странах Северной Европы. Отсюда осенью они мигрируют в разные районы африканского континента. Весной птички возвращаются в те же места, которые они покинули осенью. Летят они обычно ночью и, как правило, в одиночку. При этом даже молодые птички, совершающие свое первое путешествие, достигают цели так же успешно, как и старые, опытные мигранты. Как же славкам удается держать правильный курс без стаи, без вожаков во время ночных перелетов вокруг почти половины земного шара? Изучением этой сложнейшей и интереснейшей загадки природы Зауэры начали заниматься еще в 1956 г. Для проведения опытов ученые вырастили славок в совершенно закрытом, звуконепроницаемом помещении, где они жили в иллюзии вечного лета. Однако, когда наступила осень, птички начали беспокойно порхать с ветки на ветку и беспрерывно прыгать по своим насестам. Так вели себя пернатые в течение нескольких недель, т. е. в течение того времени, которое требовалось им для перелета в Африку. Затем они снова начинали спать по ночам. А весной, когда приходила пора славкам возвращаться из Африки к своим европейским гнездовьям, лабораторные птички опять надолго теряли сон. Глядя со стороны на подопытных птичек, можно было подумать, что внутри у них находятся часы, говорящие, когда нужно улетать в далекие края и когда возвращаться на родину. Далее ученые поставили новую серию опытов. Славок поместили в клетку с застекленным верхом и вынесли ночью в сезон перелета на улицу под открытое небо. Увидев ночное звездное небо, каждая из птичек, находившихся в клетке, словно стрелка компаса, заняла определенное положение, в точности соответствующее курсу, которым тот или иной вид славковых начинает свой перелет из Центральной Европы в Африку: садовые славки, серые славки, славки-черноголовки "указывали" на юго-запад, славки-завирушки — на юго-восток. Даже когда пробовали сбивать птичек с избранного направления, вращая насест, они упорно возвращались к нему.

Чтобы еще раз проверить умение славок ориентироваться по звездам, их поместили в планетарий, т. е. в помещение с куполом, воспроизводящим звездное небо. Искусственный небосвод позволял смещать положения звезд и созвездий. Изменяя их высоту, можно было "менять" географическую широту,

заставляя птичек верить, что они находятся дальше к югу или к северу, чем на самом деле. Подобным же образом, смещая небо по оси восток — запад, удавалось вводить славок в заблуждение относительно долготы места. Результаты опытов оказались поразительными — другое слово трудно подобрать. Пока небо планетария было установлено на приблизительную широту Германии, Джонни (так прозвали одну из славок) принимал ожидаемое положение для полета на юго-восток. Но когда небо смещали, изображая более южные широты, птичка начинала все более и более поворачиваться на юг. И, наконец, она выбирала курс прямо на юг! Другими словами, птичка, которая провела всю свою жизнь в клетке и не только не участвовала в перелете в Африку, но и вообще никогда не летала под настоящим небом, тем не менее показала врожденную способность использовать звезды, чтобы лететь обычным маршрутом, точно устанавливая курс на данной широте.

А вот еще один любопытный опыт, характеризующий ориентационную способность славок. Однажды ночью, когда Джонни, взмахивая крыльями, вытянулся в юго-восточном направлении, исследователи внезапно "сдвинули небо". Теперь оно соответствовало точке, находящейся примерно на 77° к востоку, т. е. местности где-то около озера Балхаш в Сибири. Птичка сразу же забеспокоилась. Она возбужденно смотрела на незнакомое небо и почти целую минуту пребывала в неподвижности. Затем она внезапно повернулась и взлетела в западном направлении. Чтобы исправить смещение, Джонни "направился" прямо к обычному месту отлета в Германии! Но по мере уменьшения смещения птичка изменяла курс с западного на все более южный. Когда Джонни "находился" неподалеку от Вены, он взял направление на юг. Когда же звезды небосвода были возвращены к положению, соответствовавшему действительной местности, времени года и часу ночи, птичка вновь приняла нормальное направление на юго-восток.

Поведение Джонни, подтвержденное опытами с другими птицами, не оставляет сомнения, что природа наделила пернатых замечательным механизмом для ориентации не только по Солнцу, но и по звездам в их дальних путешествиях. Не проходя курса астрономии, не штудируя курса географии, они имеют, это можно сказать без всякого преувеличения, отличное, самое детальное представление о расположении светил на небе, соединенное с точным чувством времени, которое привязывает небосвод к географии Земли в любой час любого времени года. При первом же взгляде на небо птицы, оказывается, автоматически узнают нужное им направление и точно

выдерживают его на всем многотысячекилометровом миграционном пути.

Но только ли птицы обладают феноменальным механизмом звездно-солнечной ориентации? Безусловно, нет. Не так давно в защиту теории Крамера — Мэтьюза "выступили" даже обитатели царства Нептуна. Так, например, было установлено, что окунь роккус возвращается на свое нерестилище в озеро, ориентируясь по Солнцу в направлении на север. В пасмурные же дни или когда окуней лишали возможности видеть, закрывая им глаза непрозрачными колпачками, рыбы теряли ориентировку и двигались беспорядочно. Были проведены и такие эксперименты в лабораторных условиях: свет Солнца заменяли светом лампы. В этом случае рыбы выбирали направление в зависимости от места расположения лампы. Свое умение ориентироваться по Солнцу доказали ученым также рыбы из семейства Centrarchidae и Cicklidae. Их содержали в специальных аквариумах, освещавшихся то Солнцем, то лампой. Выдача корма производилась в строго определенное время суток, причем среди множества кормушек лишь одна наполнялась едой. Подопытных рыб приучали ориентироваться в условиях Северной Америки. По окончании "курса обучения" их привезли на самолете в Бразилию, т. е. в другое полушарие. Но и здесь, в новой обстановке, при изменившейся высоте дневного светила, в момент кормления солнечный "компас" продолжал работать. Однако попытки объяснить миграцию рыб с помощью астронавигации могут быть приемлемы только для видов, перемещающихся в верхних слоях воды. Для глубоководных же рыб этот фактор не может являться определяющим: они не видят Солнца. Вероятно, здесь главную роль играет обоняние (вспомним утверждение Гриффина о комплексном характере ориентации птиц!).

За последнее время ученые накопили немало экспериментальных данных, позволяющих утверждать, что по Солнцу ориентируются не только рыбы и птицы, но и многие насекомые. Возьмем, к примеру, пчел. В отличие от птиц, у них нет раз и навсегда установленных трасс полета. Нет у них и врожденного предпочтения к какому-то одному полюбившемуся им направлению, как у некоторых жуков. Направление полета у них меняется каждую неделю, а то и день ото дня. И все же, отправляясь за взятком в разные стороны от улья, они неукоснительно возвращаются в свой родной дом, порою пролетая до него расстояние в несколько километров. Интересно, что, зная об этой изумительной способности пчел, в Америке перед первой мировой войной пытались создать даже военно-пчелиную почту. Специальным составом шифрованная

микротелеграмма наносилась на крылья пчел. А адресат читал ее уже с помощью лупы.

В чем же секрет поразительных навигационных способностей пчел? Этого никто не знал до тех пор, пока в 1952 г. Карл фон Фриш рядом поставленных опытов не доказал, что пчелы также широко используют в качестве ориентира наше дневное светило. При этом пчелы обладают еще и изумительной ориентационной памятью. По-видимому, этим они обязаны своим "внутренним биологическим часам". Опытами установлено, что, не видя по нескольку недель дневное светило, пчелы не перестают "помнить" солнечный азимут. На первый взгляд это может быть воспринято как парадокс: откуда пчелам знать положение Солнца, когда его уже не видно? И тем не менее это совершенно реальный факт. Экспериментальным путем бесспорно доказано, что пчелы умеют точно "рассчитывать" ночной путь Солнца по знакомому им дневному пути.

Многие в прошлом считали, будто муравьи оставляют на дороге душистые отпечатки, в которых левый и правый следы пахнут различно, так что запах тропинки говорит насекомому, куда ведет дорога — от муравейника или к муравейнику. Но это все-таки осталось недоказанным, зато недавно удалось установить, что некоторым видам муравьев ориентироваться в их путешествиях помогает тот же солнечный луч. Проделали, например, такой опыт. Муравей полз по освещенной Солнцем дорожке в определенном направлении. Его накрыли темной коробкой и через некоторое время выпустили. Он пополз дальше, но уже под некоторым углом к прежнему курсу. Угол измерили, и он оказался равным тому углу, который прошло Солнце, пока муравей сидел под коробкой.

Аналогично пчелам и муравьям ориентируются по Солнцу и представители одного из видов пауков — водомерки, обитающие у берегов Средиземного моря. Их увозили и выпускали далеко в открытом море, и они, безошибочно пользуясь космическим "маяком", устремлялись к берегу. Эксперименты показали, что паук меняет угол направления движения соответственно времени дня и положению Солнца над горизонтом. А когда небо закрыто облаками, насекомое избирает направление движения по поляризации света. В процессе опытов у паука была обнаружена способность очень точно отсчитывать время, причем эта способность существенно зависела от его физиологического состояния.

Итак, следует считать установленным, что, наряду с птицами, рыбы и насекомые тоже умеют ориентироваться по Солнцу. А могут ли они так же, как и птицы, ориентироваться по ночным

космическим "маякам", скажем по Луне? Способны ли они "читать" карту звездного неба и осуществлять по ней свои близкие и дальние путешествия с высокой точностью?

Оказывается, могут. Так, например, песчаная блоха выбирает направление к морю, основываясь на положении Луны на небосводе. Она, как полагают ученые, производит сложные "навигационные расчеты".

Известный тунисский мирмеколог Санчи считает доказанным, что некоторые пустынные муравьи способны днем видеть звезды. Длинные узкие фасетки сложного глаза этих насекомых с одной-единственной светочувствительной клеткой на дне Санчи образно сравнивает с глубоким колодцем, со дна которого и человек днем, при свете Солнца, может увидеть звезды. Он даже написал философский трактат в стихах о маленьком муравье, заставляющем человека поднять глаза от Земли к великим мирам, проплывающим в небе; о ничтожном муравье, который в яркий солнечный день находит для себя в синеве небосвода дальнюю звезду, служащую ему надежным проводником; о слабом муравье, который, подобно мудрецам Земли, путешествует с верным компасом; о скромном муравье, привязанном невидимой человеку ниткой света к золотой звезде, упорно идущем по ней к своей заветной цели.

Разумеется, к теме, которой посвящены стихи Санчи, можно относиться по-разному, сами стихи могут нравиться или не нравиться, но ученые, и прежде всего бионики, не могут сегодня пройти мимо опытов, доказывающих, что для муравьев, обитающих в пустынных местностях, где почти нет наземных примет, звезды не только ночью, но и днем служат надежным световым компасом.

Итак, сегодня мы уже немало знаем о замечательных навигационных способностях птиц, рыб, насекомых... Знаем и не перестаем удивляться их поистине чудесным возможностям. Удивляемся и неизменно сравниваем эти способности с человеческими и видим, что подчас это сравнение оказывается совсем не в пользу людей, вооруженных, как уже говорилось, точнейшими приборами и сложнейшими таблицами. И появляется даже желание несколько поиронизировать над навигационными способностями человека, напомнив читателю о злоключениях неопытных мореходов в открытом море, так красочно описанных Джеком Лондоном в его "Путешествии на "Снарке".

"Роско решил ловить Солнце на востоке и настаивал на этом, несмотря на то, что Солнце должно было

пройти меридиан на юг. Со своей стороны я решил ловить его на юго-востоке и все уклонялся на юго-запад. Как видите, мы еще продолжали учиться. Наконец, когда судовые часы показывали двадцать пять минут первого, я провозгласил полдень по Солнцу. Это значило, что наше местоположение на поверхности Земли изменилось на двадцать пять минут, что равняется приблизительно шести градусам долготы, или тремстам пятидесяти милям. А это доказывало, что "Снарк" шел со скоростью пятнадцати узлов в течение двадцати часов, чего в действительности не было. Вышло смешно и нелепо... Но Роско, продолжая смотреть на восток, утверждал, что полдень еще не наступил. Он намерен был уверить нас, что мы идем со скоростью двадцати узлов. Тут мы начали быстро поворачивать наши секстанты по горизонту и, куда бы мы ни глядели, всюду мы видели Солнце до странности низко над горизонтом, а иногда и ниже его. В одном направлении Солнце говорило нам, что еще раннее утро, а в другом — что полдень давно миновал. Но Солнце показывало время правильно — значит, ошиблись мы. И все послеобеденное время мы провели в каюте, стараясь разобрать этот вопрос с помощью книг и найти, в чем же состояла наша ошибка".

Не легче оказалось проделать необходимые расчеты и по готовым таблицам.

"Я взглянул в "Альманах мореплавателя" и нашел, что в этот самый день, 7 июня, Солнце запаздывает на 1 минуту и 26 секунд и что оно наверстывает упущенное со скоростью 14,67 секунды в час. Хронометр сказал мне, что в то мгновение, когда я определял высоту Солнца, в Гринвиче было 8 часов 25 минут утра. Казалось, что, имея все эти данные, любой школьник мог бы вычислить уравнение времени. К несчастью, я не школьник. Ясно, что в полдень в Гринвиче Солнце отстает на 1 минуту и 26 секунд. Столь же ясно, что, если бы теперь было 11 часов утра, Солнце отставало бы на 1 минуту 26 секунд и еще на 14,67 секунды. Если бы было 10 часов утра, следовало бы прибавить дважды 14,67 секунды. А если бы было 8 часов 25 минут утра, следовало бы прибавить 14,67 секунды, помноженные на 3,5. Далее, совершенно ясно, что если бы было не 8 часов 25 минут утра, а 8 часов 25 минут пополудни, то следовало бы не прибавить 14,67 секунды, а вычесть их, потому что, если

в полдень Солнце отставало на 1 минуту и 26 секунд и нагоняло это опоздание со скоростью 14,67 секунды в час, в 8 часов 25 минут пополудни оно должно было находиться много ближе к тому месту, где ему надлежит быть, чем в полдень.

До сих пор все шло хорошо. Но что же именно показывал хронометр — 8 часов 25 минут утра или вечера? Я взглянул на часы. Они показывали 8 часов 9 минут, конечно, утра, так как я только что окончил завтрак. Но раз на борту "Снарка" было 8 часов утра, те 8 часов, которые показывал хронометр (а он показывал гринвичское время), должны были быть иными, чем 8 часов на "Снарке". Но какие же это были 8 часов? Это не могли быть 8 часов этого утра, решил я, значит, это 8 часов либо этого, либо предыдущего вечера. Здесь я сваливаюсь в бездонную пропасть интеллектуального хаоса".

А птицы, рыбы, насекомые — эти представители фауны, к которым порой мы относимся так снисходительно, — не имея ни человеческого интеллекта, ни сложных карт, ни мудреных таблиц, в то же время ухитряются и определять свое положение в пространстве, и перемещаться на громадные расстояния, и находить путь к дому.

Конечно, мы уже довольно много знаем о навигационных способностях животных. Но, как это обычно бывает, еще большего мы не знаем. В самом деле, ну кто может сейчас объяснить механизм и причины изменения птицами направлений полета в определенных точках миграции? Почему пернатые иногда все-таки находят дорогу без помощи небесных светил, в условиях сплошной облачности и тумана? А загадочная форма направленной ориентации, обнаруженная Гриффином и названная им "бессмысленной"? В этом случае птицы, несмотря на возможность солнце-компасной ориентации, в любых случаях выбирают одно и то же, им одним понятное направление. Просто все эти новые факты уже как-то не вмещаются в рамки существующей теории ориентации животных. Значит, эту теорию уже пора расширять, дорабатывать, а может быть, и коренным образом перерабатывать. На базе чего? А те гипотезы навигации, которые были изложены выше? Может быть, они в чем-то способны обогатить нынешнюю теорию? Ведь не случайно же сейчас вновь поднимается вопрос о наличии инерциального механизма навигации птиц (американский исследователь Барлоу, 1964 г.).

А "магнитная чувствительность" пернатых? Об этом пока новых сведений нет. Зато стало известно, что магнитное поле способно действовать на головной мозг млекопитающих и, в частности, на такой его важный отдел, как гипоталамус (советский ученый Ю. А. Холодов). И, быть может, в ближайшее время мы услышим что-нибудь новое и о "магнитной чувствительности" птиц? Ведь техника экспериментов в биологии и бионике совершенствуется с каждым днем.

Говоря об ограниченности наших нынешних знаний в области ориентации животных, необходимо подчеркнуть следующее: если мы сейчас уже что-то знаем о наличии такой ориентации, имеем весьма приближенные и, как уже отмечалось, явно неполные сведения о ее способах, то о механизме ориентации — устройстве и принципе работы систем ориентации животных — мы почти ничего не знаем. И объясняется это все тем, что нам пока еще далеко не ясно, как исследовать физиологические изменения, происходящие в организме животных во время их ближней и дальней миграции, как определять влияние факторов среды, которые приводят в действие навигационный механизм животных, как получить возможность наблюдать на больших расстояниях за жизнью животных, их поведением непрерывно, в течение дня и ночи, на протяжении нескольких дней, недель и даже месяцев.

В решении этой проблемы на помощь ученым недавно пришла микроэлектроника. Представьте себе такую картину. В большом автомобиле, снабженном специальным радиоприемником, сидит орнитолог. На голове у него надеты наушники. Сосредоточившись, он медленно вращает антенну, установленную сверху на машине. Четкий конус диких гусей летит в мрачном грозовом небе. Их громадные крылья выглядят темными на фоне серых туч. Низкий характерный крик гусей то и дело долетает до земли. Но орнитолог не слышит голосов птиц. В наушниках слышны лишь четкие, непрерывные и пронзительные сигналы пищика радиоприемника. Это радиосигналы, посылаемые гусями-путешественниками!

Каким же образом дикие гуси превратились в радиовещательные станции? А дело в том, что птицы несут на себе крошечные, очень легкие радиопередатчики, получающие питание от ртутных батарей (подобных тем, которыми пользуются в усилителях для глухих) и подающие сигналы мощностью 0,1 мвт. Антеннами служат петли сбруи. Каждая миниатюрная станция весит менее 56 г, и гуси быстро привыкают к ней. Скрытая в оперении сбруя не нарушает аэродинамических свойств птицы. Когда гуси находятся в полете, сигналы,

посылаемые радиопередатчиком, можно принимать в радиусе 16 км.

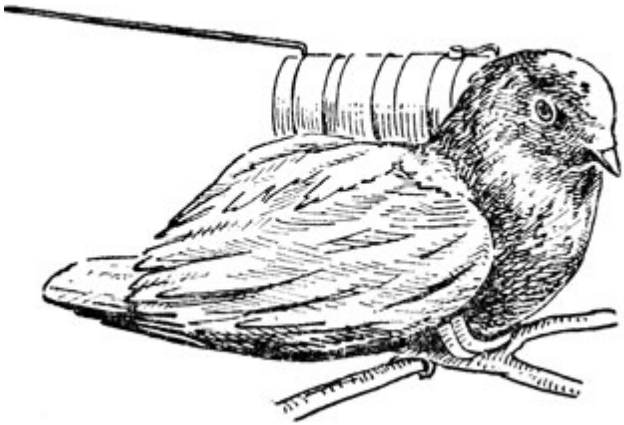


Рис. 4. Голубь с укрепленным на спине мощным миниатюрным передатчиком — маяком. Антенна во время полета остается в горизонтальном положении

Аналогичным образом, используя телеметрию, Управление научных исследований военно-морского флота США проводит опыты по изучению методов навигации, применяемых голубями. На спине голубя укрепляется собранный на полупроводниках микроминиатюрный радиомаяк мощностью 1 мвт, работающий на частоте 140 гц и весящий вместе с источником питания около 28 г (рис. 4). Источником энергии служат три крошечных ртутных элемента, генерирующих ток в течение 20 час. (В дальнейшем инженеры предполагают решить проблему питания передатчиков путем применения термоэлементов, использующих тепло тела птицы.) За голубем в полете тянется очень легкая антенна длиной 101,6 см. Сигналы маленького крылатого радиста четко принимаются высокочувствительными приемниками с узконаправленной антенной на расстоянии до 40 км. Пеленгация голубя осуществляется в строго определенное время, и точки его нахождения наносятся на карту. Если радиопередатчик "вживить" в организм и соединить его с другими приборами, можно получать информацию о зависимости маршрута от внешних условий и состояния разных органов чувств пернатых. Применение магнитометра позволит учитывать реакцию подопытного крылатого штурмана на изменение магнитного поля. Американские ученые и инженеры надеются, что результаты проводимых опытов позволят им раскрыть тайну "биологической навигационной системы голубей" и на этой основе создать новую малогабаритную и высоконадежную аппаратуру.

В недалеком будущем для ретрансляции сигналов радиопередатчиков с перелетных птиц американские ученые и военные специалисты собираются спроектировать установку приемно-передаточного устройства на искусственном спутнике, запущенном по полярной орбите и совершающем полный оборот за 103 мин. Предполагается, что при наличии 24 приемных станций, распределенных по земному шару, спутник позволит собрать сигналы с площади более 4000 км^2 за каждый оборот и даст возможность сопоставить перелеты птиц с данными о погоде, принятыми с того же спутника или взятыми из наземных сводок.

Не так давно Управление научных исследований военно-морского флота США объявило о своем намерении осуществить широкую программу исследований передвижения крупных рыб, бурых дельфинов, черепах (предполагают, что они ориентируются по звездам), китов, акул, т. е. морских животных, которые почти все время плавают вблизи поверхности (рис. 5). Такие исследования проектируется проводить на специальном автоматическом судне длиной 4,5 м, идущем со скоростью 30 — 60 км/час и способном в течение 12 час поддерживать контакт с основным судном на расстоянии до 10 км. На автоматическом судне будут установлены специально разработанные (в соответствии с требованиями намеченных экспериментов) системы слежения, надводная и подводная телевизионные камеры, система гидрофонов и другая аппаратура.

Что же в конце концов практически дадут науке и технике все ведущиеся ныне и запланированные на будущее в разных странах обширные программы исследований навигационных механизмов многочисленных животных?

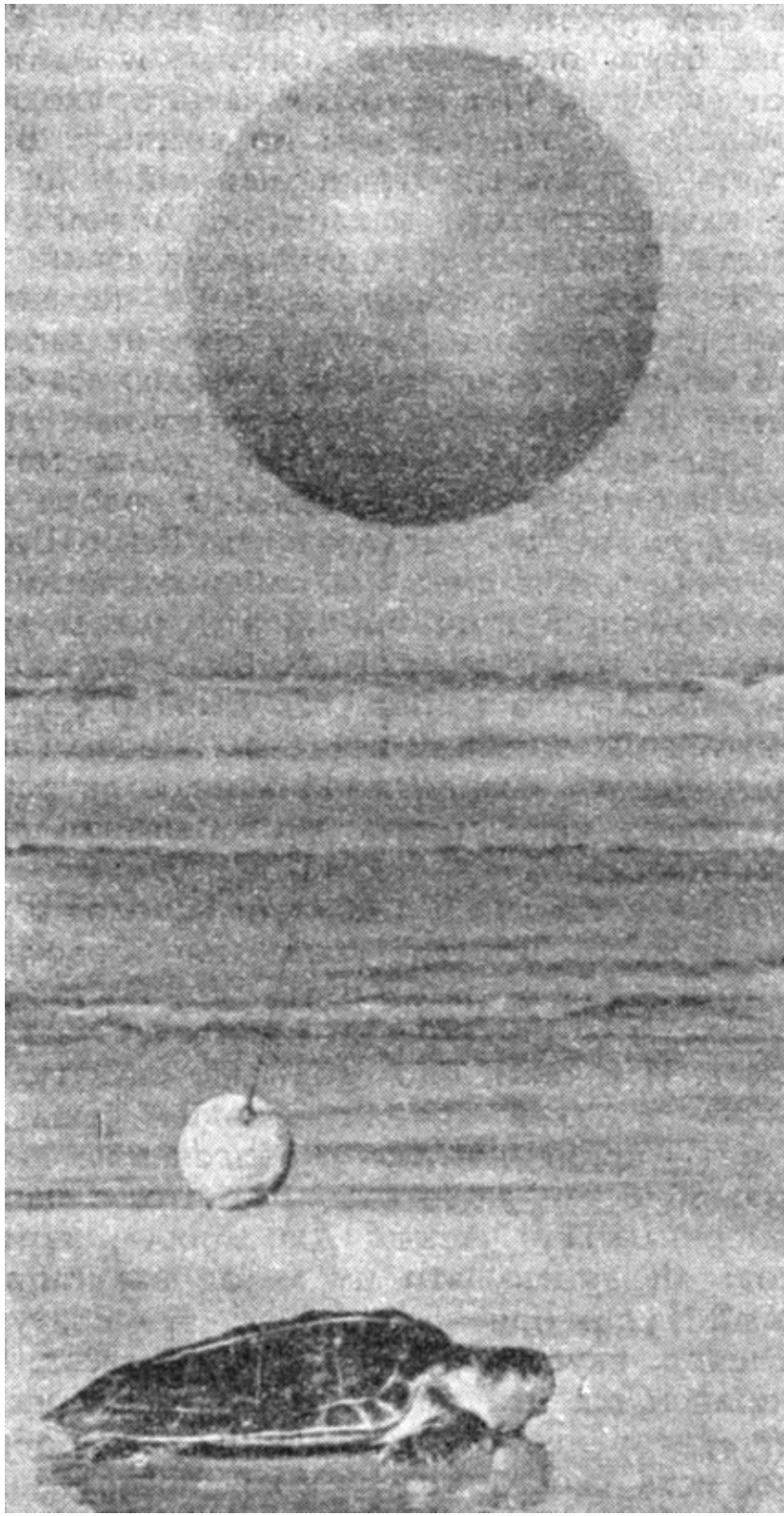


Рис. 5. Черепаха пускается в дальний путь. По шару проследят ее курс к островку, где она отложит яйца

Это совсем не простой вопрос. Но мы знаем уже, что, позавидовав птицам, люди научились летать. Ну, а почему бы нам не перенять у пернатых и их замечательное чувство географического положения? Оно, как мы видели, иногда даже более совершенно, чем наш магнитный компас. Мы знаем уже, как часто путает человека этот древний прибор. Его выводят из строя магнитные бури, особенно в Арктике и Антарктиде, вблизи от полюсов. Там летчикам чаще приходится водить самолеты по звездам, чем по компасу. Вот если бы выведать у крылатых странников тайну их замечательного навигационного механизма! Летчики повел и бы самолеты буквально с закрытыми глазами. Отпала бы необходимость в радиомаяках и пеленгаторах. Штурманы прокладывали бы курс, даже не взглянув на компас. А может, и сами штурманы оказались бы тогда ненужными? Их заменили бы электронные вычислительные машины... Правда, это еще только мечты, но мечты уже вполне реальные. Ведь еще совсем недавно известный французский исследователь Реми Шовен писал: "Для того чтобы вместить кибернетический механизм, имитирующий хотя бы то, что делает муравей, при нынешнем развитии техники, было бы мало даже такого внушительного здания, как Эмпайр стейтс билдинг". Но так было совсем недавно... Прошло немного времени, и успехи современной микроэлектроники в какой-то степени перечеркнули высказывание французского специалиста.

Развитие исследований в области методов и средств навигации в живой природе позволило биологам, биофизикам и инженерам разработать теорию так называемой параллельной фильтрации комплекса навигационных средств. И к чести биологов надо сказать, что необходимость в такой теории впервые была понята именно ими — применительно к объяснению навигационных способностей животных. Вот что, в частности, пишет американский ученый Дж. Лилли, изучающий дельфинов: "Я думаю, что их метод навигации множественный[9]; они ориентируются по температуре, скорости течения, вкусу воды, положению звезд, Солнца и т. п., причем все эти данные поступают в их огромный мозг одновременно и мгновенно. У китообразных, возможно, есть своего рода карты, построенные во многих измерениях; эти карты создавались в течение многих лет, и с их помощью животные путешествуют по всему земному шару, переплывая из одного моря в другое и т. д.". Оказалось, что такая точка зрения на проблемы навигации сулит большие перспективы

не только при объяснении удивительных способностей животных, но и, что особенно важно, для техники. Об этом говорят уже первые шаги, проделанные в данном направлении.

Таким образом, на вопрос о том, что же реально дадут нам интенсивно ведущиеся исследования навигационных механизмов животных, можно, не боясь преувеличений, ответить так: раскрытие тайн живых систем ориентации приведет к полному перевороту в современном навигационном приборостроении.

Используя биологические закономерности, ученые создадут множество принципиально новых навигационных систем. Появятся даже приборы, с помощью которых будут весьма точно определять свое местоположение будущие исследователи земных недр во время спуска к центру Земли. Новые навигационные системы позволят полностью решить все современные, проблемы ориентации под водой и в звездном пространстве, откроют людям путь в мир далеких неведомых галактик. Штурманы звездолетов грядущего будут так же уверенно чувствовать себя в бескрайних просторах вселенной, как наши сегодняшние космонавты на околоземных орбитах.

Беседа восьмая. Бионика и архитектура

Приближалась сотая годовщина Великой французской революции. К этой дате решили организовать в Париже всемирную выставку, а на территории выставки — воздвигнуть башню, она должна была символизировать собой и величие французской революции и новейшие достижения техники. На конкурс поступило 700 проектов. Лучшим был признан проект инженера-мостовика Александра Гюстава Эйфеля.

По окончании строительства башни (она была собрана из 15 000 отдельных металлических частей, скрепленных 2 500 000 заклепок) известный в то время поэт Максимилиан Волошин, большой любитель всяких шуток и "розыгрышей", распустил слух, будто в Эйфелевой башне, поразившей в конце XIX столетия весь мир своей высотой и ажурностью конструкции, нет ничего нового, она якобы построена по чертежам одного арабского ученого.

Это была, конечно, шутка. Но, внимательно изучив устройство знаменитой трехсотметровой башни, которая давно уже стала таким же своеобразным символом Парижа, как у нас в Москве Кремль, архитекторы и биологи сделали неожиданное открытие: изящная конструкция Эйфелевой башни в точности повторяет (совпадают даже углы несущих поверхностей) строение... большой берцовой кости, легко выдерживающей тяжесть человеческого тела! Оказывается, то, что сознательно искала пытливая мысль талантливого инженера, "целесообразно" создала природа в отшлифованном тысячелетиями живом организме.

Не так давно ученые установили, что скелет лебедя устроен точно так же, как арматура современных железобетонных конструкций. Аналогично тому, как стеклянное волокно повышает прочность ламинатов, каркас из неправильных волокон какого-то "цемента" придает прочность мягкому телу лебедя. Этот каркас состоит главным образом из спонгина — белкового вещества, богатого связанным йодом. Стекловидные, заостренные на конце иглы — так называемые склеры — выполняют ту же функцию, что и стальная арматура в бетоне. Поэтому скелет лебедя, состоящий из продольных и поперечных "балок", может выдерживать значительные нагрузки.

И еще один любопытный факт. Все началось, как любит рассказывать французский профессор Роберт Ле-Риколе, с анекдотического случая. Однажды Ле-Риколе нашел в крупном

макете здания... человеческий скелет, напоминающий по своей позе профессора. Кто-то из студентов хотел таким путем выразить свое отношение к методам преподавания Ле-Риколе[10]. Профессор заинтересовался конструкцией скелета и велел перенести его в свой кабинет. Произвели ряд обследований и обмеров. Когда скелет взвесили, то оказалось, что он весит только 6 кг, т. е. в 10 раз меньше, чем средний человек. Исследования установили, что кость, хотя она и является чрезвычайно хрупким материалом, способна, благодаря присущему ей особому строению, выдерживать большие нагрузки, порядка 1200 — 1700 кг/см^2. Отсюда последовал логический вывод — прочность данного материала зависит от того, как построена его ткань.

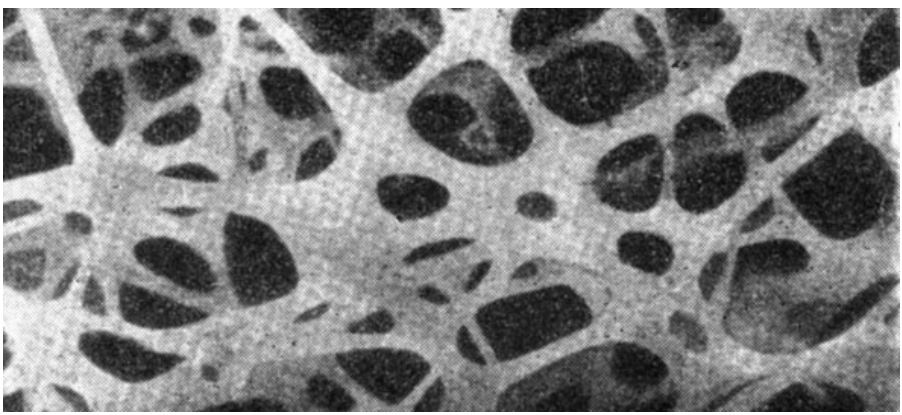


Рис. 1. Микрофотография большой берцовой кости

Всестороннее, тщательное изучение человеческого скелета показало, что он представляет собой необыкновенно сложный комплекс пространственных систем. Поскольку невозможно статически определить наименьшее число соединенных стержней в узлах, Ле-Риколе пришел к заключению, что "следует рассматривать не узлы, а распределение отверстий. Порядок повторения этих отверстий может дать ключ к истинному смыслу всего построения" (рис. 1).

И тогда, рассказывает Ле-Риколе, в его творчестве открылась новая глава: дырчатые конструкции. Профессор пришел к заключению, что главное — это соответствующее расположение в материале пустых пространств. Вопрос заключается не в расположении плоскостей, а в обрамлении отверстий, соединяемых разным образом. Различные способы соединения обрамлений отверстий, по твердому убеждению Ле-Риколе, позволяют решить ряд сложных проблем в сопротивлении материалов. Ученый надеется, что разработанные им пространственные системы найдут в ближайшем будущем

широкое применение, и, в частности, в космонавтических конструкциях, где принимается в расчет не только сопротивление материалов, но прежде всего количество употребленного материала (снижение веса конструкций). По мнению ряда крупных архитекторов, макеты, выполняемые ныне под руководством Ле-Риколе, могут сегодня казаться утопическими, но возможно, что через несколько лет они будут основой для новых концепций овладения межпланетным пространством.

Итак, обычная кость человека предстает перед нами настоящим кладезем технических идей — стоит только всмотреться, взглянуть на нее другими глазами.

Какими же это другими?

Глаза человеческие устроены очень сложно, но у всех одинаково, и, вообще говоря, люди видят вещи такими, какие они есть. А бывает особый взгляд — взгляд через невидимую призму творческого мышления, который способен рассмотреть сущность вещи, увидеть ее метаморфозы, ее новые грани, особенности предназначения. Ведь вот же не раз, надо полагать, доводилось Александру Эйфелю видеть человеческий скелет, слышать о прочности его костей, но, когда он приступил к проектированию своей чудесной башни, ему и невдомек было искать прообраз ее конструкции в строении большой берцовой кости. Но стоило волей случая увидеть скелет человека профессору Ле-Риколе, занятому поиском новых архитектурных форм, и в его мастерской появились макеты оригинальных зданий будущего.

И еще пример. В одной из своих статей французский архитектор Огюст Перре, автор известного проекта здания театра на Елисейских полях в Париже, пишет:

> "...Что касается меня, то я никогда не пытался направлять звук, считая, что лучше, как это делалось в античных театрах, дать ему свободу.
>
> Я присутствовал однажды при убедительном подтверждении этого принципа, когда услышал в Лурде пение странников под деревьями. Никогда я не слышал более прекрасного звучания, чем здесь, в пространстве, ограниченном землей и покровом из листьев. Я решил тогда, что такого рода звучание может быть достигнуто, если построить зал "просверленный" в той же пропорции, как покрытие у листьев. По этому принципу и построен большой музыкальный зал театра на Елисейских полях. Я построил сперва закрытый зал, а внутри него — другой зал, "просверленный", как корзина. Эта система оказалась настолько удачной, что один из наиболее

требовательных руководителей оркестра говорил об акустике зала, что она является "чудом". Акустические качества этого зала я объясняю тем, что "решето" зала беспрепятственно пропускает звуки, устраняя лишние звучания и эхо..."

Подлинно любознательные, подлинно преданные науке глаза ученых не раз пытались заглянуть в архитектурную мастерскую природы. Изучением структуры природного материала и особых принципов самоконструирования живых организмов занимались такие выдающиеся ученые, как Демокрит, Галилео Галилей, Роберт Гук, Герберт Спенсер, Марчелло Мальпиги и др. Известный немецкий ботаник Симон Швенденер посвятил свои исследования выяснению связи между анатомическим строением и физиологической функцией органов и тканей растений. В результате проведенных исследований ученый установил, в частности, что расположение опорных тканей в растениях обеспечивает их наибольшую устойчивость и соответствует законам механики; он разработал так называемую механическую теорию листорасположения. Так, трудами С. Швенденера было положено начало науке об архитектонике растений. Многое в ней объяснил выдающийся русский естествоиспытатель-дарвинист К. А. Тимирязев. "Роль стебля, — писал ученый, — как известно, главным образом архитектурная: это — твердый остов всей постройки, несущий шатер листьев, и в толще остова, подобно водопроводным трубам, заложены сосуды, проводящие соки... Именно на стеблях узнали мы целый ряд поразительных фактов, доказывающих, что они построены по всем правилам строительного искусства". Значительный вклад в развитие науки об архитектонике растений внесли советские ботаники В. Раздорский, В. Талиев и др.

Однако подавляющее большинство проводившихся в прошлом исследований удивительных механических свойств, чудесных архитектурных форм живых организмов носило чисто академический характер, и сознательное использование в строительной технике накопленных знаний о природных конструкциях до сравнительно недавнего времени было весьма ограниченным. Скорее, имело место интуитивное заимствование у природы ее архитектурного мастерства.

Но это — в прошлом. Теперь изучение природных конструкций ведется планомерно, с использованием новых, небывало мощных и бесконечно тонких физико-математических и химических методов. Глубокие и всесторонние исследования принципов самоконструирования живых организмов за

сравнительно короткий срок принесли богатый урожай открытий. Познакомимся же с тем новым, что внесено изучением природных конструкций в строительную технику и архитектуру.

В Дакаре проектировали здание театра, внутри которого не должно было быть ни одной колонны, ни одной даже декоративной опоры — все здание должно было представлять собой огромную, пустую, тонкую железобетонную "скорлупу", покоящуюся на специальном фундаменте.

Когда все расчеты были закончены, оказалось, что запроектированной конструкции здания явно не хватает прочности. Между тем естественная яичная скорлупа легко выдерживает соответствующие нагрузки. В чем же дело? Пришлось обычное "выеденное яйцо" подвергнуть тщательному изучению. Установили, что его прочность объясняется тонкой и эластичной пленкой-мембраной, благодаря которой скорлупа оказывается конструкцией с предварительным напряжением. Этим открытием строители не преминули воспользоваться при сооружении театрального здания, только мембрана была, конечно, изготовлена не из "куриного" материала, а из армоцемента.

Помимо яичной скорлупы в природе имеется множество других форм оболочек, заслуживающих подражания. Это скорлупа ореха, панцири животных, раковины и т. п. Все эти природные структуры характеризуются изогнутой поверхностью, высокой жесткостью и твердостью материала. Тонкие и легкие, они вместе с тем весьма прочны, требуют незначительного расхода "строительного материала". Эти же качества характерны и для современных строительных конструкций, называемых оболочками. И не случайно во всех странах инженеры, занявшиеся проектированием и сооружением зданий такого рода, каждый на своем языке назвали эти конструкции скорлупами. Тонкие армоцементные скорлупы толщиной 15 — 30 мм покрывают ныне без опор пространства высотой до 120 и более метров. При этом, чем больше пролет, тем тоньше и легче (до определенных пределов) должна быть скорлупа!

Заговорив о форме, рождающей прочность, нельзя не рассказать об удивительном устройстве некоторых листьев, подсказавшем архитекторам так называемые "складчатые конструкции". Речь пойдет о существующих в растительном мире листьях, имеющих ребристую форму и форму веера. В этих структурах, пожалуй, нашла свое наиболее яркое воплощение одна из самых интересных закономерностей природы — "сопротивляемость конструкции по форме".

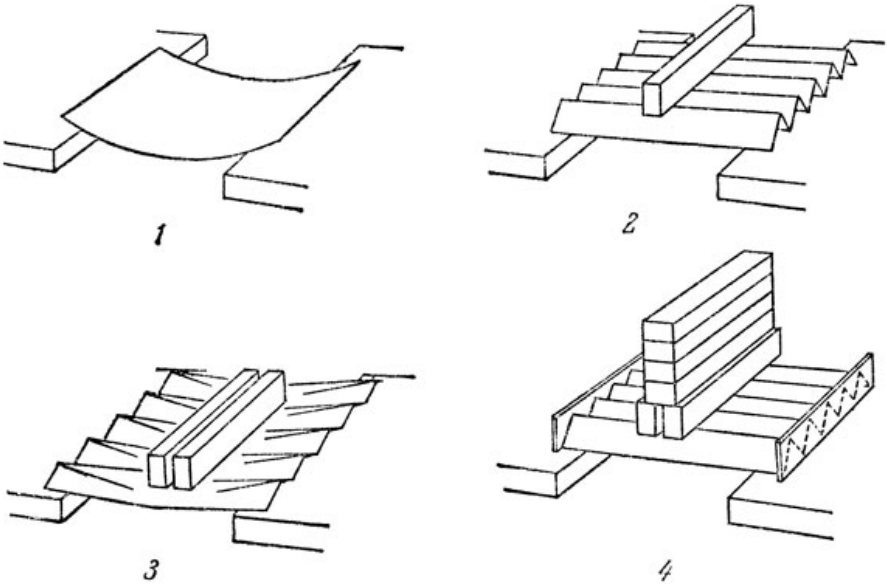


Рис. 2. Бумажная модель складчатой конструкции (по К. Зигелю). 1 — ровный лист бумаги прогибается; 2 — придав листу складчатую форму, мы повышаем его несущую способность; 3 — при перегрузке складки распрямляются; 4 — торцевые стенки (диафрагмы) придают складкам жесткость и повышают их несущую способность

Что же скрывается за этим сухим инженерным термином, каков его смысл? Поясним простым примером. Возьмем лист обычной писчей бумаги и положим его противоположные края на подставки (рис. 2). Лист не выдержит собственного веса и прогнется. А теперь сложим тот же лист "гармошкой" и положим его опять на две опоры так, чтобы параллельные складки шли поперек пролета. Нетрудно убедиться, что такой гофрированный лист ведет себя иначе, чем гладкий. Он устойчив и может легко, не деформируясь, выдержать нагрузку, равную стократной величине его собственного веса; если же к торцам складок приклеить усиливающие полоски, то гофрированный лист сможет выдержать еще большую нагрузку. Что же произошло, ведь в нашем опыте ни размеры листа, ни его вес, ни качество не изменились? Все дело в новой форме листа — она придала ему новые механические качества. Используя принцип "сопротивляемости по форме", в США построили складчатые купола пролетом 100 — 200 м, во Франции произвели перекрытие павильона пролетом 218 м. Широкое применение получили тонкостенные пространственные складчатые конструкции и в СССР. Это стало возможным благодаря глубоким исследованиям

советских ученых и инженеров, посвященным теории складок, методам возведения большепролетных сооружений.

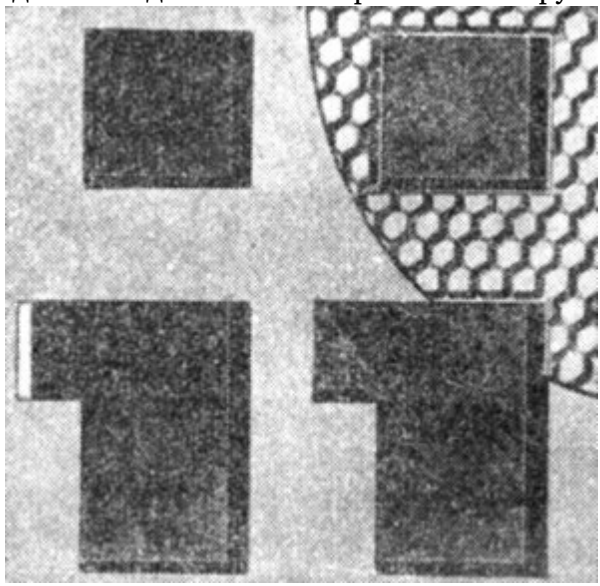


Рис. 3. Конструкция крупной панели, изготовленной по сотовому принципу

Не так давно известный польский инженер и архитектор Адам Карвовский применил в строительстве жилых домов опыт пчел в сооружении восковых сот. Они представляют собой десятки тысяч шестигранных призм, расположенных параллельными рядами. Основание каждой призмы состоит из трех ромбов, образующих вместе пирамиду. Пчелиные соты обладают многими достоинствами. Унификация элементов здесь доведена до предела: главным и единственным конструктивным элементом всей пчелиной постройки служит шестигранная ячейка, сделанная из воска. Другое достоинство сот — их прочность. Каждый ряд ячеек пчелы кладут с "перевязкой", как каменщики кирпичную стену. Но прочность здесь — относительная, конечно, — выше, чему кирпичной стены. Соты изотропны; это значит, что их прочность одирткова во всех направлениях. Именно этими достоинствами пчелиных сооружений и решил воспользоваться Адам Карвовский при изготовлении по сотовому методу крупных панелей (рис. 3). Из шести видов панелей, изображенных на рис. 4, собираются ныне в Польской Народной Республике дома любой формы и с разным числом этажей.

Сотовые панели можно делать из самых разных материалов: из обычного железобетона, древесно-волокнистых плит, синтетических смол, шлаковой ваты, различных отходов. Вместо

стали для армирования применяют пластмассы. Дома, собранные из панелей Гданьского конструкторского бюро, в 5 раз легче обычных, а затраты труда на их постройку в 20 раз меньше!

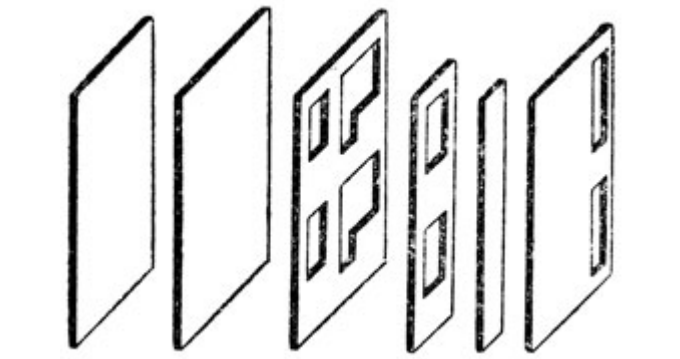


Рис. 4. Шесть видов сотовых панелей, из которых можно собирать дома любой формы и с разным числом этажей

У пчелиных сот имеется еще одно чрезвычайно важное достоинство, весь секрет которого заключается в рационально выбранной форме, в геометрическом построении восковой ячейки. Ученые не раз производили самые точные вычисления размеров главного конструктивного элемента пчелиных сот и неизменно приходили к одному и тому же результату: все острые углы трех ромбов, образующих основание каждого шестигранника, равны 70°32'. Математики доказали, что при шестигранной форме именно такая величина углов обеспечивает наибольшую вместимость сотовой ячейки при минимальных затратах строительного материала на ее сооружение.

Небезынтересно отметить, что однажды все же возникло сомнение в точности "вычислений", которые "сделали" пчелы. Один английский ученый пришел к выводу, что острый угол каждого ромба должен равняться не 70°32', а 70°34'. И стало быть, пчелы все же немного ошиблись. Неизвестно, как долго длился бы этот спор, если бы не случилось одно неожиданное происшествие, не имевшее к пчелам никакого отношения.

А случилось вот что. В бурю перевернулся и затонул недалеко от берега английский корабль. Следствие установило, что он был неправильно рассчитан, так как кораблестроители пользовались изданием логарифмических таблиц, в котором были опечатки. Вот тогда-то и выяснилось, что этим же изданием логарифмических таблиц пользовался английский ученый, заявивший, что пчелы неверно решили задачу о наибольшей вместимости ячеек. Когда же он проверил свои вычисления по другим таблицам, то выяснилось, что правы были пчелы!

Итак, за миллионы лет эволюции пчелам удалось методом проб и ошибок найти самую экономичную и самую емкую форму сосуда для хранения меда.

А нельзя ли нам, людям, воспользоваться опытом мохнатых тружениц и тоже хранить в сотах, но только железобетонных, разные продукты, например зерно? Безусловно, можно! И не только можно, но и настоятельно необходимо. Ведь ежегодно в нашей стране строятся десятки элеваторов для хранения зерна. А обычный элеватор — это просто ряд труб — силосов. Совершенства здесь мало, а железобетона расходуется много. Толщина стенок круглых монолитных башен весьма велика. И не потому, что прочность этого требует, их иначе сделать невозможно. В тонкий зазор — щель между кольцами опалубки — бетонную смесь не заложишь и уплотнительный вибратор не вставишь, волей-неволей приходится делать силосы массивными.

Иное дело сотовый элеватор, конструкцию которого разработали советские инженеры. Он строится просто и быстро. Уже в первом, высотой в пятнадцатиэтажный дом, сотовом элеваторе, сооруженном в Купино, в степи под Новосибирском, стенки силосов, собранные всего лишь из двух типовых железобетонных элементов, стали намного тоньше, бетона пошло меньше, а надежность конструкции значительно возросла. Следом за купинским поднялся в Целинограде еще более совершенный элеватор сотовой конструкции. На него ушло примерно на 30% меньше бетона, чем на его монолитного "предка", а затраты труда сократились вдвое!

Но тысячевековой опыт пчел в сооружении сот оказался полезным не только строителям жилых домов и зернохранилищ. Его весьма успешно используют при строительстве плотин, шлюзов и многих других сложных и ответственных объектов.

В последнее время в отечественной и зарубежной печати много пишут о так называемых "надувных сооружениях". Этой новинкой инженеры также всецело обязаны "изобретательству" природы. Ранней весной то тут, то там можно увидеть "чудо": нежные ростки растений взламывают асфальтовую "броню" толщиной 8 — 10 см. Подобное чудо повторяется ежегодно несметное число раз. Разрушение асфальта нежными ростками невольно поражает воображение. Откуда такая "прочность" у этих маленьких и хрупких созданий? Какая сила помогает им пробить асфальт, чтобы выбраться на волю, к теплу и солнцу?

У растительных клеток есть протоплазма и оболочка. При проникновении в клетку воды увеличивается объем клеточного сока, заключенного в особые пузырьки, вкрапленные в протоплазму. Вследствие этого облегающая пузырьки

протоплазма плотно прижимается к клеточным оболочкам и растягивает их, подобно тому как надутые автомобильные камеры растягивают шины. Это напряжение клеточных оболочек, вызванное внутриклеточным давлением, называется тургором. Тур-гор и является той "силой", которая позволяет росткам "взрывать" асфальт, пробиваясь к теплу и свету. Он же создает упругость листьев и стеблей. Когда на ваших глазах сорванные и увядшие цветы "отходят" в воде, в их тканях нарастает тургор.

При нормальных условиях абсолютная величина внутриклеточного давления колеблется в пределах от 5 до 10 атм, а в отдельных случаях она во много раз превышает давление пара в котлах самых мощных локомотивов и достигает 108 атм. Здесь весь материал, как это нередко наблюдается в природе, работает на растяжение.

В 1951 г. советский инженер Л. Арсеньев, используя принцип тургора, разработал конструкцию надувного здания. Это новшество поначалу многие расценили как "весьма сомнительное", "практически неосуществимое". Но прошло несколько лет, и использование принципа тургора привело к появлению совершенно новой области строительной техники — к созданию пневматически напряженных конструкций. Пневматическое напряжение, создаваемое избыточным давлением газа или жидкости, обеспечивает гибкой герметичной оболочке несущую способность и устойчивость при любых видах нагрузок. Сейчас принцип тургора получил широкое применение в аэро- и гидростатической архитектуре США, Англии, Франции, Польши, СССР и других стран.

Различают два основных типа пневматических конструкций — воздухоопертые и еоздухонесомые (рис. 5 и 6). Возможны и комбинации конструкций этих двух типов, а также использование пневматических элементов в сочетании с жесткими конструкциями.

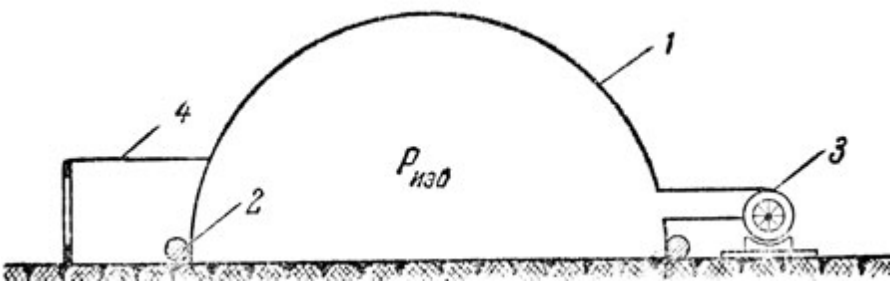


Рис. 5. Схема воздухоопертого купола. 1 — оболочка; 2 — анкерующий балласт; 3 — воздуходувка; 4 — тамбур (шлюз)

К воздухоопертым относятся системы, в которых избыточное давление воздуха порядка 20-100 мм водяного столба создается в самом эксплуатируемом объеме сооружения. Такое давление практически не ощущается человеком. Избыточное давление поддерживается с помощью вентиляторов или воздуходувок низкого давления. Они автоматически регулируются так, чтобы поддерживать внутри здания постоянное давление; при бурях включаются добавочные вентиляторы. На случай перерывов в подаче тока к моторам, приводящим в действие вентиляторы, воздухоопертое сооружение оборудуется запасной насосной установкой.

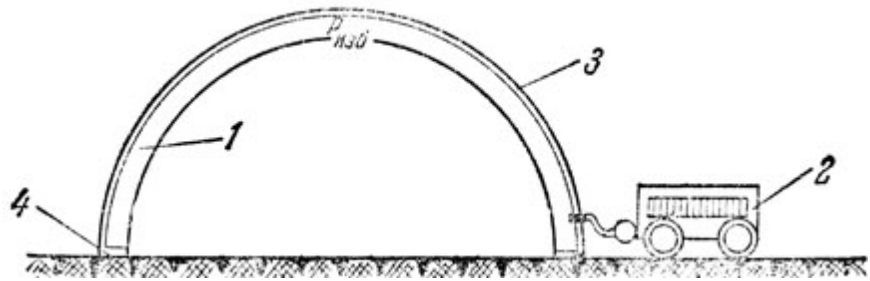


Рис. 6. Схема воздухонесомого арочного свода. 1 — пневматическая арка; 2 — компрессор; 3 — ограждающая оболочка; 4 — опорная пята арки

Герметичность сооружения обеспечивается воздухонепроницаемостью материала оболочки и ее плотным сопряжением с основанием. Основанием надувного здания в самом простом случае служит контурная труба из мягкого материала, заполненная водой или песком, которая располагается прямо на выровненной площадке. В более капитальных сооружениях делается сплошное бетонное основание, на котором укрепляется оболочка. Варианты крепления оболочки к основанию очень разнообразны. Чтобы слегка сжатый воздух не уходил из надувного здания при входе и выходе людей, здание оборудуется специальными герметическими дверями.

Таким образом, сооружение воздухоопертого типа состоит в общем случае из следующих конструктивных элементов: гибкой тканевой или пластмассовой оболочки, анкерных устройств различных типов, входного шлюза, имеющего две попеременно открывающиеся двери, и автоматических устройств для подачи воздуха и поддержания постоянной разности давлений.

Формы поверхностей пневматических оболочек должны отвечать определенным требованиям. При соответствующем

раскрое материала и контуре опоры пневматическая оболочка под действием внутреннего избыточного давления приобретает форму поверхности наибольшего объема. Наиболее распространенными формами сейчас являются цилиндрический свод и сферический купол. Однако в пределах этого же закона формообразования допустимо огромное разнообразие форм оболочек, что открывает широкие возможности для решения разнообразных архитектурно-планировочных задач.

Наибольшую опасность для систем воздухоопертого типа представляют сильные ветры. Ветер, дующий с одной стороны купола, вызывает в различных его частях неодинаковые напряжения, а ведь оболочка надувного сооружения должна быть равномерно жесткой по всей поверхности. В случае же концентрации напряжений в одной части оболочки она может разорваться, а если опора у нее узкая, то возникает опасность опрокидывания купола. Всего этого можно избежать, поддерживая внутри здания такое давление, чтобы все точки его оболочки были напряжены до степени, препятствующей образованию складок под напором ветра.

Исследования, проведенные в аэродинамической трубе, показали, что мягкая оболочка надувной системы способна передавать чрезмерные напряжения, возникающие в одной ее точке, другим частям. Был поставлен такой опыт. В аэродинамическую трубу поместили модель надувного дома. Ураганный ветер со скоростью 320 км/час не нарушал формы купола модели при избытке давления внутри нее, составлявшем лишь 5% атмосферного!

Большой вклад в решение проблемы колебания мягких оболочек в потоке газа или жидкости внес советский ученый профессор С. Алексеев — один из авторов новой теории, позволяющей с большой точностью производить расчеты надувных систем. Эта теория получила высокую оценку видных отечественных и зарубежных механиков. Она повсеместно используется ныне при проектировании надувных сооружений.

Что касается материала для оболочек надувных систем, то многочисленные и длительные опыты показали — это должна быть прочная ткань, устойчивая к атмосферным влияниям, не становящаяся жесткой при низких температурах, не впитывающая воду, не слишком растяжимая, не портящаяся при продолжительном хранении. В настоящее время в пневматически напряженных конструкциях используются технические ткани на основе капрона, лавсана, нитрона, а также стеклянные волокна, пластмассовые армированные и неармированные пленки, тросы, тросовые сетки и другие материалы на основе минеральных и

синтетических волокон, иногда — тонкие металлические листы. Лучше всех показали себя в эксплуатации оболочки, изготовленные из высококачественного нейлона. Для повышения прочности на разрыв применяется двухслойная ткань с нитями, пересекающимися под углом 45°, благодаря чему в случае надрыва она не разрывается дальше. Для придания покрытиям водо- и воздухонепроницаемости используются синтетические каучуки типа бутилкаучука, неопрена, а также полихлорвиниловые и полиэфирные смолы. Для светопрозрачных покрытий можно пользоваться пластмассовыми пленками (полиамидными, полиэтилентерефталатными, полихлорвиниловыми и т. д.).

Соединение полотнищ материи или пленки между собой зависит от напряжений в конструкции, которые в свою очередь обусловливаются требованиями, предъявляемыми к пневмосооружению. Соединения могут быть клееными или шито-клееными (при прорезиненных тканях). При использовании пленок соединение раскроенных полотнищ производится с помощью сварки — высокочастотной или тепловой.

Одна из трудностей, возникающих при эксплуатации воздухоопертых сооружений, состоит в конденсации паров, всегда присутствующих в воздухе, на внутренней поверхности оболочки, особенно в холодное время года. С этим можно бороться соответствующей вентиляцией помещения или с помощью веществ, поглощающих водяные пары из воздуха.

Рис. 7. Если оболочку, которую человек несет на плече, надуть

воздухом, то получится здание площадью 12X24 м2

Зимой внешняя поверхность оболочки надувной системы обледеневает. Если площадь оболочки не очень велика, то обледенение можно устранить, изменяя давление в здании, чтобы вызвать движение оболочки и растрескивание льда. Если же оболочка велика, то на нее можно направить изнутри излучение инфракрасных ламп; такой нагрев оболочки предотвратит скопление снега и льда на ее наружной поверхности. Попутно заметим, что проблему создания отапливаемых воздухоопертых зданий можно решить путем комбинации воздушных насосов с калориферами.

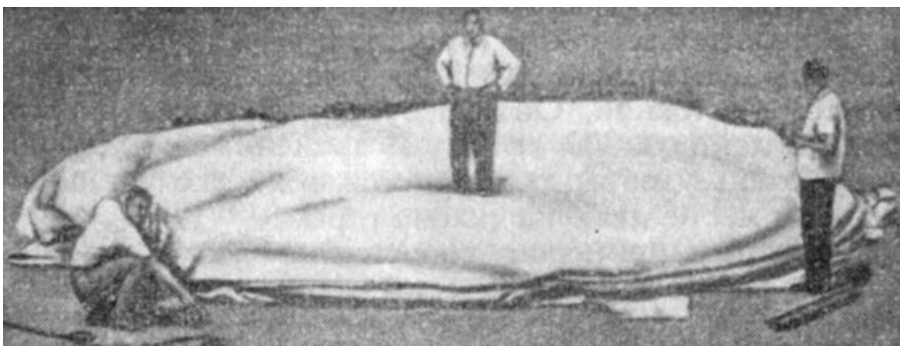


Рис. 8. Начальная стадия надувания оболочки

Высокие конструктивные качества материалов, применяемых для сооружения воздухоопертых систем, обеспечивают малый вес конструкции на 1 м² перекрываемой площади (он в 100 — 200 раз меньше веса покрытия из железобетона и стали). Малый вес пневматических конструкций, компактность в демонтированном состоянии, транспортабельность, возможность заводского изготовления, быстрота монтажа и демонтажа — качества, открывающие широкие возможности их применения в сооружениях самого различного типа и назначения.

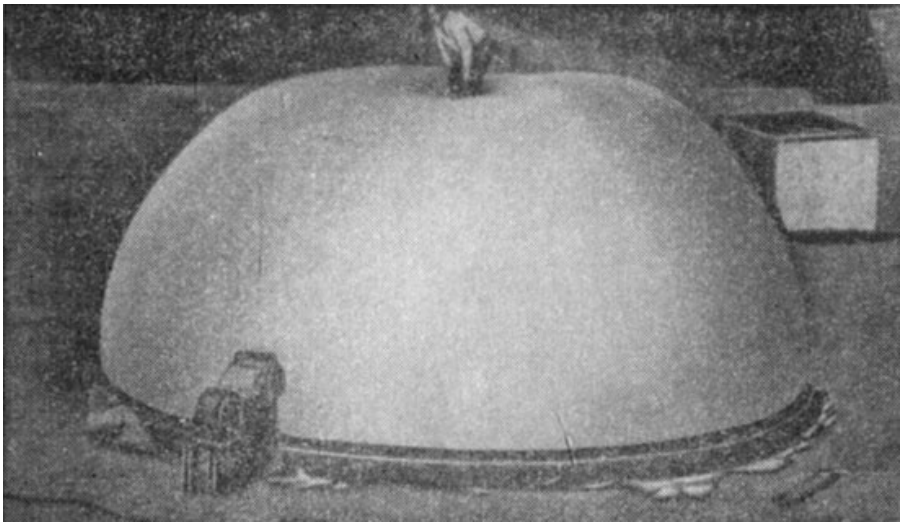


Рис. 9. Оболочка надута

На рис. 7 вы видите человека, легко несущего на плече весь "строительный материал", необходимый для сооружения здания площадью 12 X 24 м², вполне пригодного для жилья. Для того чтобы смонтировать такой дом, четырем человекам нужно потрудиться не более 4 час. Для "возведения" дома надо расстелить нейлоновую оболочку на земле, закрепить ее дно и привести в действие воздуходувку (рис. 8). Через несколько

Минут оболочка, имеющая толщину листа писчей бумаги, заполнится воздухом (рис. 9). Воздуходувка должна работать непрерывно для поддержания конструкции в надутом состоянии. Она требует столько же энергии, сколько лампа в 300 вт. Такие временные "воздушные дома" очень удобны для туристов, их легко установить в любом месте, даже на склоне горы.

Типичным примером сооружения воздухоопертого типа является пневматический зерносклад на 1800 г зерна весом всего 5 т. Его конструкция разработана Промзернопродуктом совместно с ЦНИИСК Госстроя СССР.

Малый вес конструкций, простота монтажа, транспортабельность сооружений позволяют предполагать, что такие склады найдут широкое применение для хранения зерна на целинных землях.

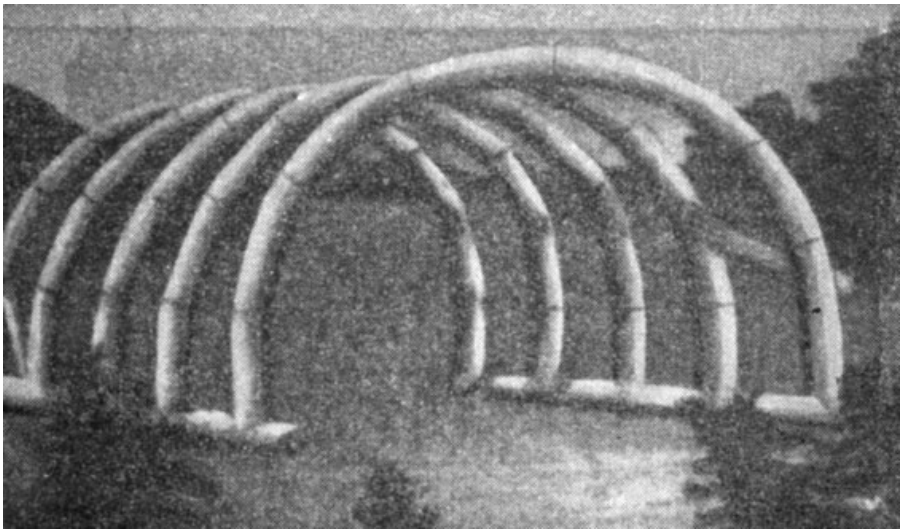


Рис. 10. Секция пневматического каркаса

В отличие от воздухоопертых, в воздухонесомых конструкциях давление воздуха создается в герметичных полостях несущих элементов; эксплуатируемый объем в этом случае свободен от избыточного давления. Внутреннее избыточное давление в таких сооружениях составляет от 0,3 до 5 атм, что уже требует применения компрессоров. Основными конструктивными элементами подобных сооружений служат пневматические арки, балки и колонны. Пневмокаркасный арочный свод и свод из целого ряда связанных между собой пневматических арок являются типичными примерами воздухонесомых конструкций.

В Чехословакии изготовляются передвижные здания с каркасом из пневматических арок. Секция такого каркаса (рис. 10) имеет в плане размер 9Х9 м^2. Арки и распорки диаметром 40 см выполняются из технической ткани и имеют пластмассовые камеры. В арках поддерживается давление порядка 0,45 — 0,5 атм. Здание состоит из двух секций. Каркас покрыт сверху латексиро-ванной технической тканью с алюминиевым напылением. Покрытие имеет оконные проемы, "застекленные" прозрачной пластмассой.

Примером пневматической воздухонесомой конструкции может служить здание театра, построенного в Бостоне (США). В здании установлено покрытие в виде диска диаметром 44 м и высотой (в центре) 6 ж. Диск состоит из двух гибких оболочек, соединенных по наружному контуру, и с помощью тросов прикрепляется к опорной кольцевой раме, покоящейся на стойках каркаса (рис. 11). Необходимое давление в покрытии

поддерживается тремя воздухонагнетающимиустройствами; дно из них подает в оболочку охлажденный воздух. (Стальной каркас рассчитан так, что кольцевая рама способна выдержать вес железобетонной оболочки, причем воздухонесомое покрытие будет использовано в качестве опалубки.) Театр рассчитан на 2000 мест. Он эксплуатируется только летом. На зиму покрытие убирается. 1 $м^2$ покрытия весит 1,22 кг. Избыточное давление в покрытии составляет всего 25 мм водяного столба; несмотря на это, покрытие хорошо выдержало ураган в 1960 г.

Не так давно советские специалисты разработали несколько новых оригинальных воздухонесомых пневматических конструкций — так называемые "болыпеобъемные квазипустые" ("квази" означает "как бы") сооружения различной конфигурации, внутри которых создается неполный вакуум, т. е. квазипустота. Такие системы можно штамповать из прочного тонкостенного металлического листа, а также из высокопрочных, воздухонепроницаемых технических тканей, например прорезиненного нейлона или синтетических пленок.

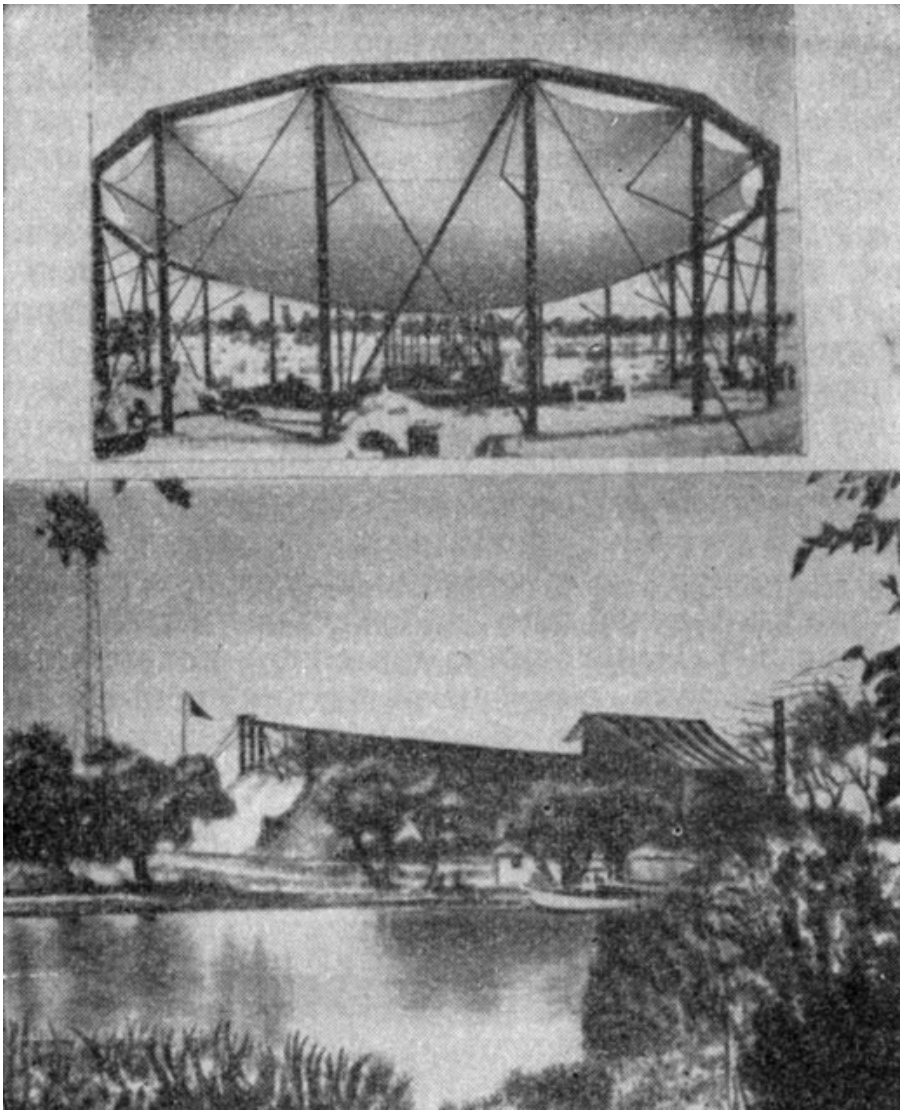


Рис. 11. Общий вид летнего театра в Бостоне (внизу) и пневматическое покрытие (вверху)

Вот как устроено простейшее из таких сооружений — шарообразное. Оно состоит из наружной и внутренней сферических оболочек и связей между ними. Когда компрессор подает сжатый воздух в пространство между оболочками, сооружение, естественно, принимает форму шара — связи между оболочками не позволяют внутренней оболочке опасть. Здесь нет каркаса, его роль играет воздух между оболочками — давление воздуха противостоит внешнему атмосферному давлению. Остается только выкачать из эксплуатируемого объема шара воздух — и сооружение готово.

Полезность таких квазипустых сооружений в народном хозяйстве трудно переоценить. В них можно консервировать высокогабаритную технику (самолеты, вертолеты, тепловозы, вагоны, гидротурбины, автомобили, тракторы и т. п.). Квазипустые сооружения позволяют хорошо и без потерь сохранять урожай зерна, пока его не вывезут на элеваторы.

Весьма эффективно применение воздухоопертых и воздухонесомых сооружений в тех случаях, когда их основное назначение — защита от атмосферных воздействий: дождя, ветра, снега и т. д. Например, над открытым плавательным бассейном можно на зиму установить прозрачный купол, позволяющий пользоваться бассейном круглый год и в любом климате. На рис. 12 показана одна из надувных конструкций "Нильфранс", изготовленная из пропитанной особым составом нейлоновой ткани. Ее длина — 60 м, ширина — 40 м и высота — 19 м. Под таким куполом спортсмены

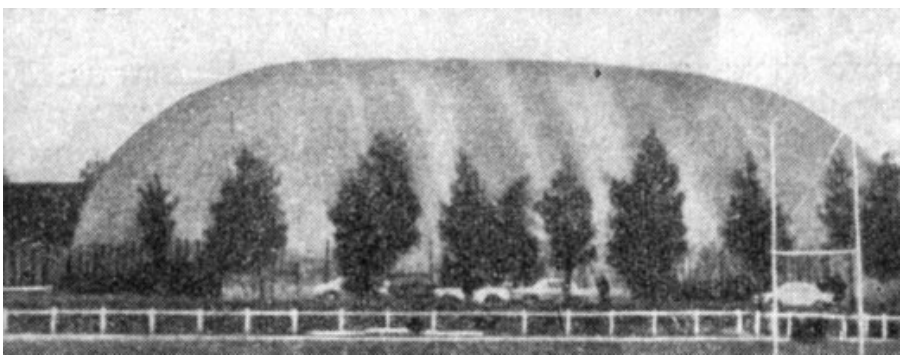


Рис. 12. Надувная конструкция 'Нильфранс' из пропитанной особым составом нейлоновой ткани

Национального спортивного института в Винсенсе тренируются в любую погоду. Другая надувная конструкция "Нильфранс" была использована для постройки велодрома, на котором проводились тренировки к Олимпийским играм 1964 г. (рис. 13). Для придания такой оболочке определенной формы достаточно надуть ее воздухом.

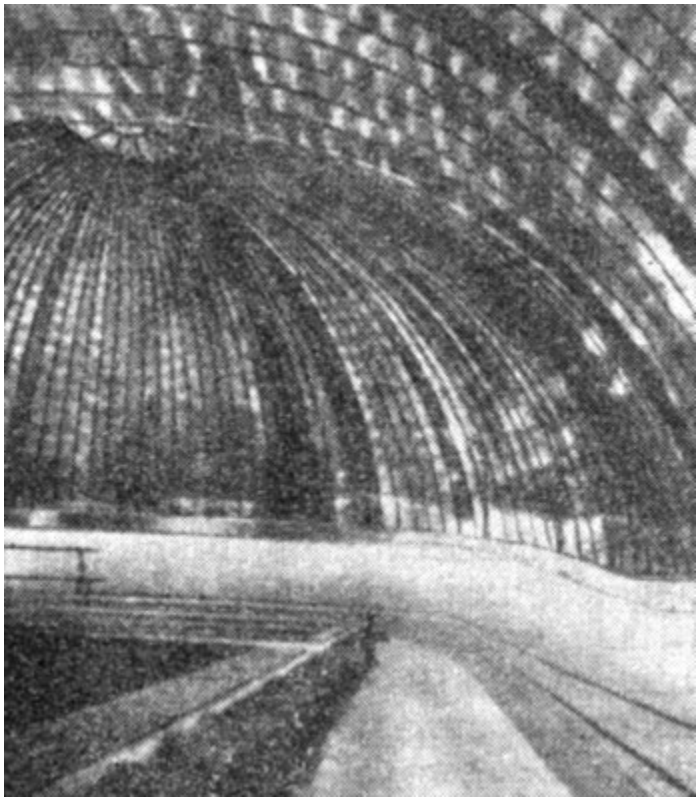
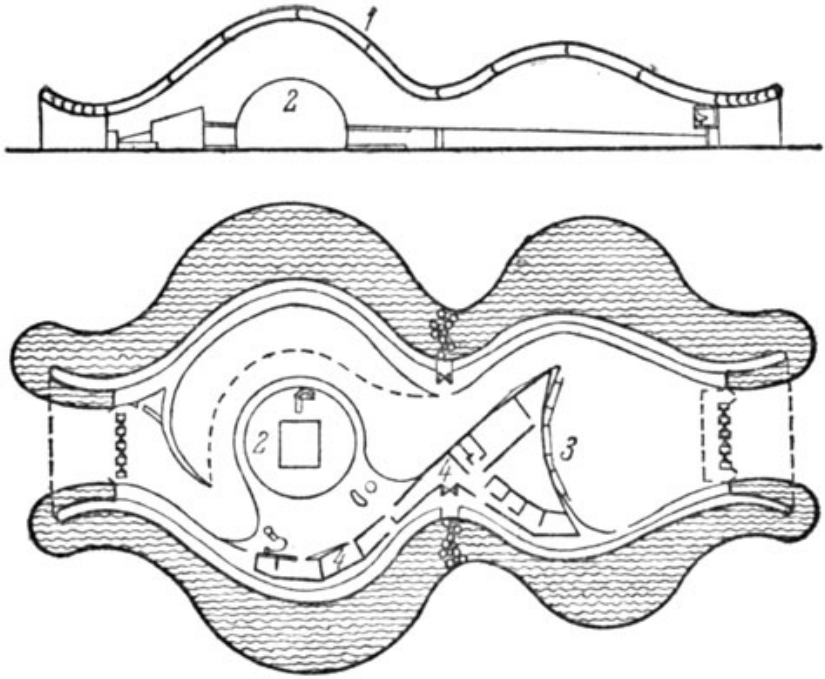


Рис. 13. Надувная конструкция велодрома

Недавно любители конькобежного спорта в городе Осака (Япония) получили новый крытый каток, здание которого сделано из нового материала — винилона. Для возведения над ледяным полем винилонового шатра, на изготовление которого пошло 8 000 000 м^2 синтетической пленки, потребовалось всего около часа — единственным строителем нового здания без единой опоры был ... сжатый воздух.



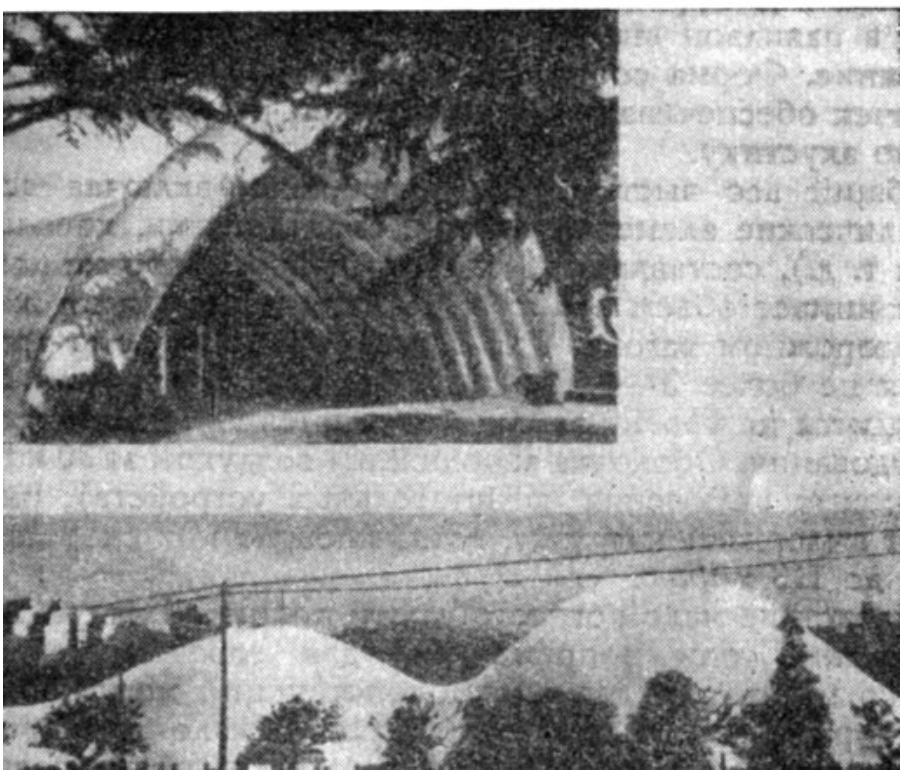


Рис. 14. Передвижной выставочный павильон. Разрез, план,

фрагмент входа, общий вид, 1 — двойная оболочка; 2 — купол реактора; 3 — лекционный зал; 4 — лаборатории

Не менее успешно надувные конструкции используются для сооружения ярмарочных и выставочных павильонов. Примером может служить здание павильона передвижной американской выставки. В павильоне демонстрируется опыт применения атомной энергии в промышленности, медицине, сельском хозяйстве и энергетике. Он состоит из лабораторий, лекционного зала и помещения для атомного реактора. Длина здания — 92 м, наибольшая ширина — 38 м, высота — 16,3 м. Общая перекрываемая площадь 2500 м^2 (рис. 14).

Покрытие павильона образуют две тканевые оболочки. Пространство между наружной и внутренней оболочками разделено на восемь отсеков для сохранения несущей способности оболочки в случае местного прорыва ткани. Воздушная прослойка между оболочками толщиной 120 см служит хорошей тепловой изоляцией, препятствующей чрезмерному перегреванию излучением Солнца, что позволило отказаться от охлаждающих установок. В торцах оболочек установлены жесткие рамы, на которых смонтированы вращающиеся двери для входа и выхода посетителей. К этим рамам примыкают входные навесы в виде арочных воздухонесомых сводов. В последние временно устанавливают две гибкие диафрагмы, образующие воздушный шлюз, когда в павильон вносят громоздкие экспонаты и оборудование. Форма сооружения и применение тканевых оболочек обеспечивают во внутренних помещениях хорошую акустику.

Общий вес выставочного павильона, включая все металлические элементы (двери, воздуходувки, крепления и т. д.), составляет 28 т. При транспортировке здание занимает объем 175 м^3 и размещается в одном железнодорожном вагоне. Для возведения павильона требуется не более 3 — 4 дней и 12 человек. Весь монтаж проводится на уровне земли, без применения кранового оборудования. Оболочка заполняется воздухом за 30 мин (с момента включения нагнетательных устройств); она может выдержать нагрузку, возникающую при скорости ветра до 113 км/час.

Вследствие малой огнестойкости покрытий надувных сооружений они неприменимы для горячих цехов. Однако материалы для пневмоконструкций могут быть и несгораемыми. Ныне имеется уже немало примеров применения пневмосооружений в качестве промышленных цехов, ангаров вертолетов, гаражей, мастерских по ремонту вагонов, цистерн и

автомашин.

Синтетические материалы обладают достаточной химической устойчивостью и поэтому могут применяться для промышленных пневмосооружений, предназначенных для производств, связанных с выделениями корродирующих веществ. Такие сооружения можно использовать также в нефтяной и химической промышленности в качестве хранилищ и мягких трубопроводов.

Удобно и весьма эффективно использование надувных систем в качестве цирковых шатров, магазинов, ресторанов и укрытий на строительных работах, в качестве специальных сооружений: мачт, башен, вентиляционных каналов, опалубки для железобетонных труб и оболочек. Наконец, большое будущее, по мнению специалистов, ожидает мягкие оболочки в космонавтике.

Столь широкие возможности применения пневматических конструкций в различных областях народного хозяйства обусловлены множеством достоинств надувных систем. Они позволяют быстро перекрывать большие пролеты без промежуточных опор. Пневматические конструкции лучше всех других можно чрезвычайно легко и экономично использовать для сооружения зданий со сложной планировкой. Они абсолютно сейсмостойки, что имеет большое значение для строительства в сейсмических районах. Надувные сооружения безопасны при авариях: при постепенном истечении воздуха через прорыв поврежденная оболочка в силу своего малого веса опускается медленно и не способна причинить повреждения ни людям, ни оборудованию. Важнейшими же преимуществами надувных систем, сооружаемых из мягких синтетических пленок и тканей, являются дешевизна синтетических материалов, возможность обходиться без обычных строительных материалов (дерево, сталь, кирпич и т. д.) и легкость монтажа, не требующая привлечения квалифицированной рабочей силы. Практика показала, что постройка большой аудитории или зрительного зала с надувным куполом обходится в несколько раз дешевле, чем аналогичные строения с потолком, опирающимся на металлические или деревянные фермы. Следует еще добавить, что удельные капиталовложения для создания заводов, производящих пневматические конструкции, могут быть значительно меньше, чем в случае всех других видов конструкций.

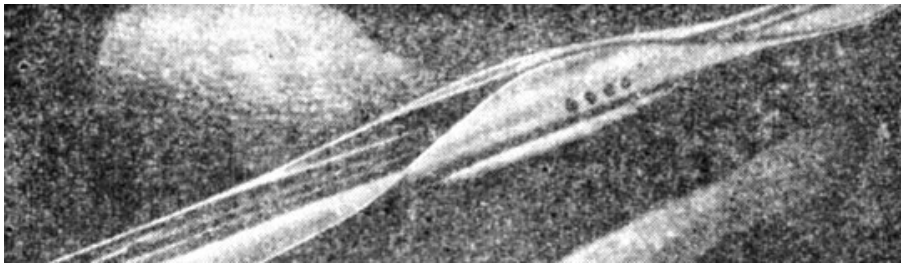


Рис. 15. Мост длиною свыше 1 км, спроектированный в виде полусвернутого листа (архитектор П. Солери)

Отмеченные достоинства надувных систем, в основе которых лежит заимствованный у природы принцип тургора, позволяют ученым сделать смелое предположение: не в столь отдаленном будущем можно будет закрывать надувными куполами целые небольшие города, создавая любой климат для населения этих городов. Во всяком случае, уже появились проекты заполярных городов, укрытых от суровой природы надувными мягкими оболочками, городов с искусственным климатом. И сегодня такие проекты отнюдь не выглядят фантастичными...

Подражая природным структурам, ряд оригинальных сооружений удалось создать и мостовикам. Так, например, французские инженеры возвели один мост, похожий на скелет морской звезды. Он имеет вид равностороннего треугольника. Это значительно надежнее, чем арочные конструкции. Попутно заметим, что выгодно делать треугольными и кирпичи. Стены домов, сложенные из таких кирпичей, приобретают большую, против обычного, прочность.

Нередко листья свертываются в трубку, образуют причудливые желоба, закручиваются в спираль — это обеспечивает их наибольшую прочность. Такая трансформация формы подсказала идею проекта моста через реку в виде полу свернутого листа (рис. 15). Его легкость поразительна, прочность (она обеспечивается загнутыми краями) необычайна. Красотой, экономичностью и долговечностью этот мост полностью обязан природе!

И еще об одной конструкции моста, подсказанной природой. Инженер Сэмюэль Броун работал над проектом моста. Он знал огромное количество разных типов мостов, много их построил сам, но вот профиль и основная конструкция нового моста не получались, никак не вырисовывались в его сознании, несмотря на долгие и мучительные раздумья. Между тем сроки торопили, нужно было как можно скорее найти общий принцип конструкции моста... Инженер вышел в сад. Тысячи тонких нитей паутины провисали между деревьями, тянулись от ветки к ветке,

перебрасывались от куста к кусту. Прямо над собой, у дорожки, Броун увидел прообраз искомой им конструкции моста на гибких длинных нитях. Ветер раскачивал ее, но подвесные нити не рвались. Оставалось только рассчитать нагрузки и сечения. Так появились в инженерной практике прочные и красивые подвесные мосты...

Сейчас уже существуют десятки технических структур, созданных инженерами и архитекторами по образу и подобию природных. Мы рассмотрели лишь небольшую их часть. Но и приведенных примеров вполне достаточно, чтобы признать — в бионике появилось новое направление, имя которому — биоархитектура; использование строительного опыта природы значительно повлияло на принципы современной архитектуры.

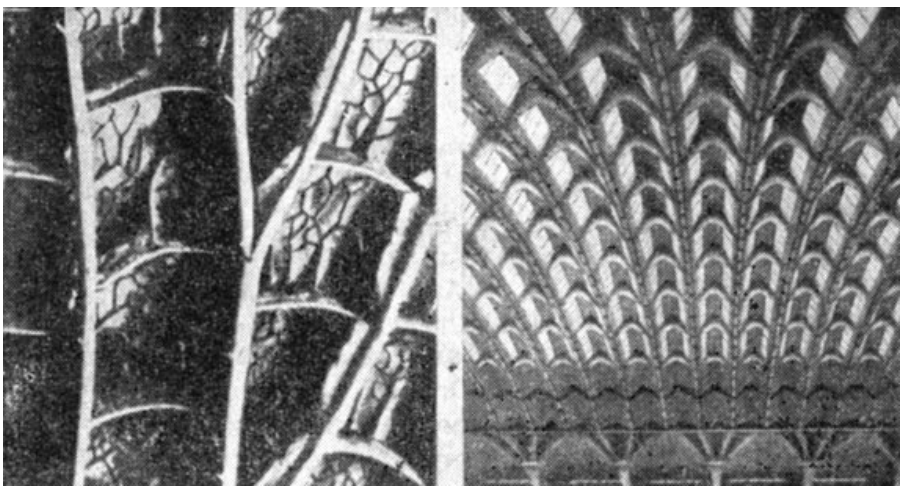


Рис. 16. Фрагмент нерватуры листа в сильно увеличенном виде (слева) и фрагмент перекрытия выставочного зала в Турине (архитектор П. Нерви) (справа)

Заимствование природных конструкций благотворно сказалось на архитектурных формах современных зданий и сооружений, нашло свое выражение в ряде созданных за последние годы пространственных решетчатых конструкций, которые состоят из большого количества отдельных стержней, подвергающихся продольным усилиям, т. е. растяжению или сжатию. Применяются с этой целью и складчатые конструкции, оболочки, служащие несущими конструкциями и состоящие из искривленных поверхностей: материал таких конструкций в идеальном случае подвергается действию нормальных усилий и усилий сдвига, но не усилий изгиба. Посмотрите на рис. 16 и вы увидите, как удачно итальянский архитектор Пьер Луиджи Нерви использовал принцип конструкции листа дерева в перекрытии

зала туринской выставки. Стометровый пролет без опор перекрыла легкая конструкция из армоцемента толщиной всего в 4 см — все перекрытие пронизано креплениями, расположенными абсолютно так же, как и нерва-тура листа. Второй пример успешного копирования природной пространственной системы — изображенный на рис. 17 железобетонный каркас свода (пролет длиной около 200 м), созданный также Нерви.

Пространственные природные конструкции отличаются от широко распространенных в строительной технике плоскостных несущих конструкций большей выразительностью. По существу, они более совершенны, и то, что пространственные конструкции сейчас получают все более широкое распространение, безусловно, означает переворот в инженерном мышлении. "В будущем, — пишет известный немецкий архитектор Курт Зигель, — авторы истории развития техники, несомненно, отметят этот перелом, когда мысли инженера перенеслись из плоскости в пространство. Тем самым инженер приблизился в сфере творчества, которая до сих пор оставалась достоянием архитектора, т. е. к области организации пространства".

А теперь о методе биоархитектуры.

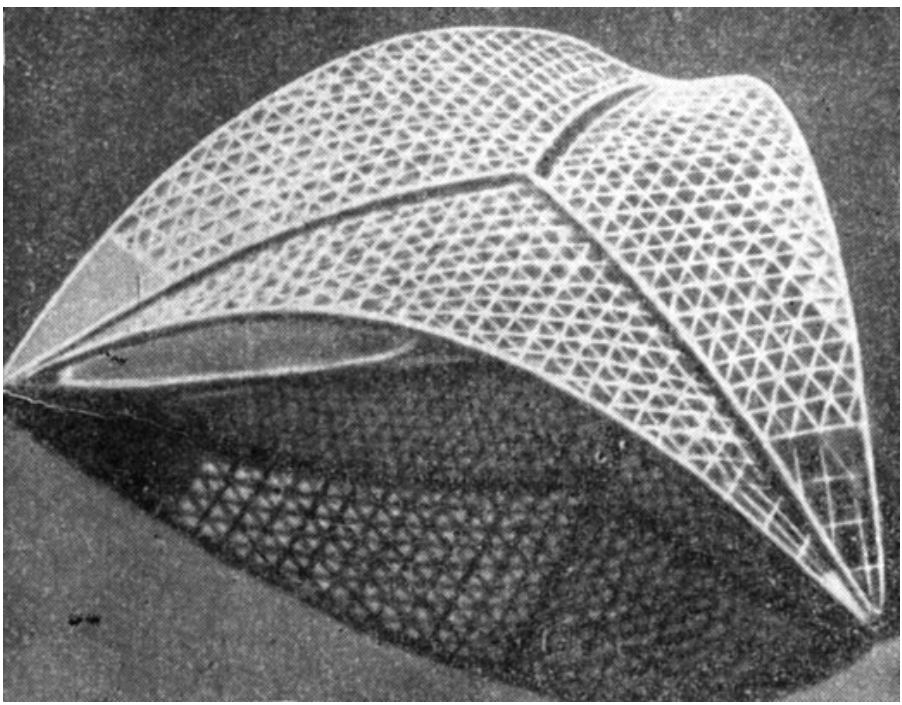


Рис. 17. Железобетонный каркас свода-оболочки (архитектор П. Нерви)

В архитектуре, как и в живой природе, форма должна определяться функцией. Обращаясь к богатой палитре природных форм, бионическая архитектура не стремится абсолютно точно копировать ту или иную живую структуру. За исключением отдельных примеров крайних натуралистических направлений в зарубежной архитектуре, подавляющее большинство природных форм преображается под рукой инженера и зодчего, что вполне закономерно. Ведь назначение живых конструкций и технических структур далеко не одинаково. Главная функция живого организма — существовать. Главная же функция архитектуры — социальная; она не только предусматривает условия для жизнедеятельности человека, но и отражает материальные и духовные устои общества, его психологию. Необходимость изменения живой формы диктуется еще одним чрезвычайно важным обстоятельством. Не говоря уже о том, что человек пока не способен в точности воспроизвести природный строительный материал, он обязан при проектировании технического сооружения по образу и подобию природного образования учитывать порядок величин и масштабы. Технические конструкции сплошь и рядом имеют размер, во много раз превышающий размер живых структур, и поэтому точное воспроизведение в сильно увеличенном масштабе природной формы неизбежно привело бы к потере присущих ей механических качеств. Если бы мы, например, увеличили раковину улитки в 1000 раз, сохраняя ее материал (известняк), то она развалилась бы под собственной тяжестью. Следовательно, при изменении масштаба необходимо менять и материал, и соотношение частей, и сечения элементов; биоархитектура не копирует природную форму, а творчески переосмысливает ее. Примером может служить разработанный архитектором Беллони проект спортивной арены в Павии со сводом из пересекающихся складок (рис. 18). Выбранная форма не произвольна — это модернизированная творческой фантазией, инженерным расчетом природная складчатая конструкция, которая подчиняется законам геометрии и архитектуры.

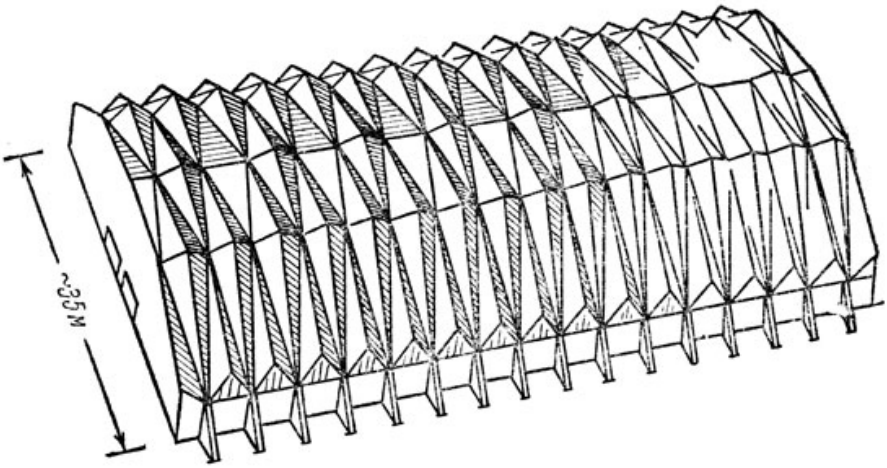


Рис. 18. Схема свода из встречных пересекающихся складок для спортивной арены в Павии (архитектор Беллони)

Складки как бы взаимно проникают одна в другую, образуя свод, сообщают системе необходимую жесткость, горизонтальный пояс связывает пяты вместе, что препятствует выпрямлению складок. Наружные контрфорсы воспринимают усилия сдвига свода. Таким образом, перед нами весьма эффектная конструкция, созданная на основе новых возможностей, предоставляемых в настоящее время использованием природного принципа "сопротивляемости по форме", а также железобетона.

Приведем еще один пример. Соты — идеальная форма для монолитной конструкции: никто не смог бы предложить пчелам что-либо более удобное. Однако собирать их из отдельных элементов, например шестигранников, не очень выгодно, потому что у каждой ячейки тогда окажутся двойные стенки. И польские конструкторы при проектировании уже известных нам крупных сотовых панелей для жилых домов усовершенствовали "идеальные" соты. Они стали собирать их из одного элемента — треугольника с продленными сторонами (рис. 19). Внешне рисунок сот усложнился, зато исчезли двойные стенки, уменьшилась трудоемкость работ, значительно повысилась прочность.

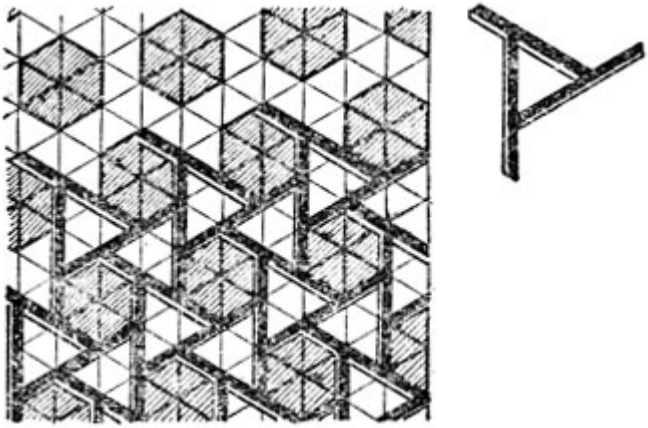


Рис. 19. Сотовые панели собираются из одного элемента — треугольника с продленными сторонами

В последнее время мы все чаще сталкиваемся с обобщениями природных форм. Синтезируя принципы построения природных структур, архитекторы и инженеры создают совершенно новые, необычные формы. Трудно сказать, на что, например, похож изображенный на рис. 20 купол ресторана в Пуэрто-Рико — на раковину или на опрокинутую чашечку цветка.

В поисках новых конструкторских решений, новых архитектурных форм зодчие, инженеры, математики, механики обратили ныне особое внимание на диатомеи — простейшие водоросли, предки которых в громадном количестве заселяли когда-то древние водоемы.

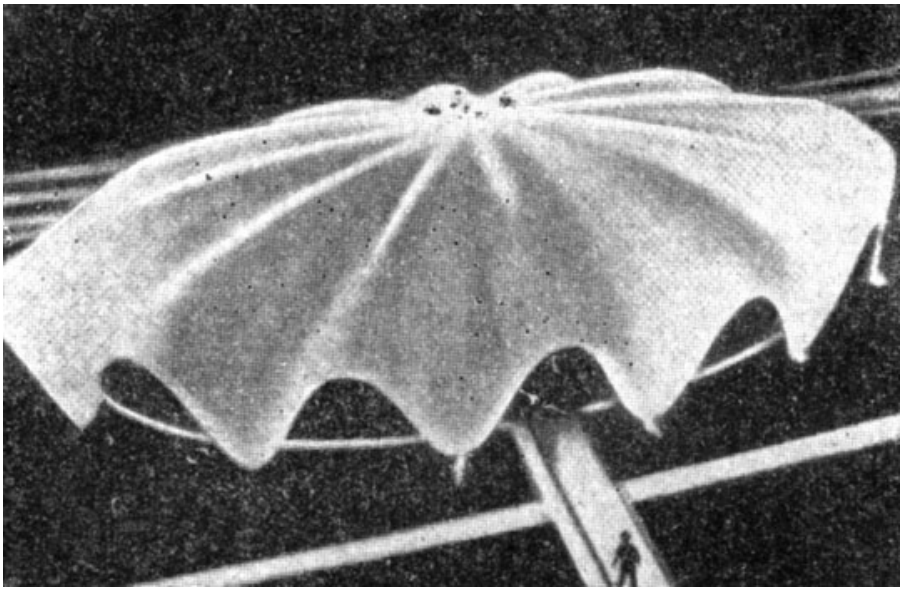


Рис. 20. Ресторан на берегу моря в Пуэрто-Рико. Его перекрытие не поддается математическому расчету (архитекторы Торо, Ферер, инженеры Вейдлингер, Сальвадори)

Каждая диатомея — всего одна клетка. Эти мелкие растительные организмы (их 5300 видов) живут на дне морей и в пресных водах, иногда на больших глубинах; они устраиваются на камнях и на различных растениях, а некоторые могут даже передвигаться по дну. "Жизненная цель" диатомеи — выжить, выдержать все механические невзгоды, которые выпадают на ее долю. Поэтому она одета в панцирь, в котором проводит всю свою жизнь.

Для изучения строения скорлупы, или панциря, диатомеи ученым пришлось прибегнуть к помощи электронного микроскопа. И когда были получены электронные микрофотографии диатомовых водорослей с увеличением в десятки тысяч раз, перед глазами исследователей открылся новый мир форм, границы которого оказались необозримыми. В нем архитекторы увидели и замысловатые пространственные решетчатые конструкции, и "микроблочные" купола, и фантастически сложные фигуры, и множество других "инженерных систем", гармонически сочетающих красоту и целесообразность, легкость и прочность, надежность и экономичность.

Следует сказать, что диатомеи имеют вид круглых структур с удлиненными или полигональными поверхностями, образуемых двумя половинами, вставленными одна в другую. Устройство их скорлупы отличается от устройства скорлупы яйца и имеет

шишковатую структуру, состоящую из параллелепипедов или решеток, придающих панцирю высокую прочность и обеспечивающих отличное использование материала.

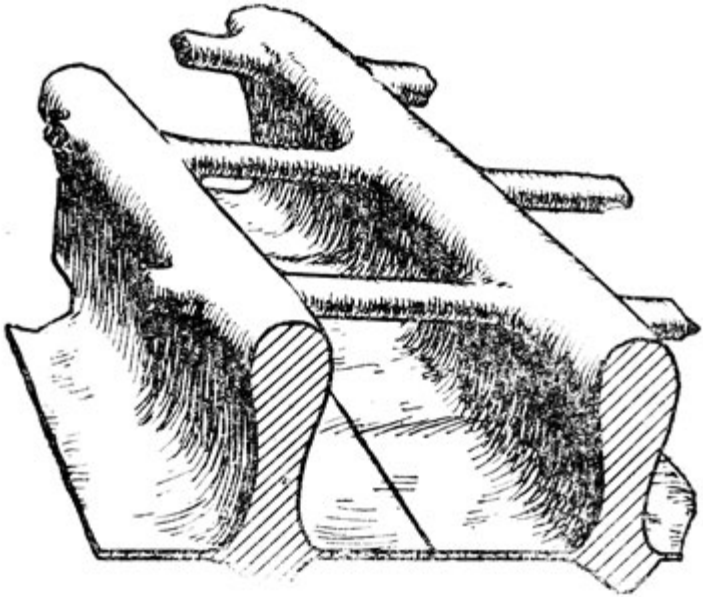


Рис. 21. Скорлупа диатомей. Скорлупа ограничивается средой, окруженной тонкой и красивой пленкой; на пленке располагаются ребра, взаимно поддерживаемые поперечными элементами жесткости

Формы поверхности панцирей диатомей неодинаковы: они могут быть цилиндрическими, куполообразными или седлообразными. Здесь наблюдается множество конструкций: панцири с очень малым числом отверстий, панцири с большим числом отверстий, образующих сетчатые структуры с широкими ребрами, и, наконец, панцири, в которых предельно тонкие стенки и ребра образуют пространственные решетчатые системы (рис. 21, 22).

Благодаря такому строению панцири диатомей способны выдерживать большие напряжения сжатия и изгиба. Прочность скорлуп чрезвычайно велика, и непонятно, каким образом такие напряжения могут возникать в панцирях этих маленьких живых организмов.

Не менее пристально исследуют сейчас многие архитекторы, математики, инженеры и радиолярий — микроскопические (обычно менее 1 мм) планктонные морские организмы с ажурным скелетом из кремнезема или сернокислого стронция. Е. Монод-Герцен в своем труде "Морфология" отмечает: "для инженеров

представляет большой интерес изучение этих удивительных шедевров природы, их структуры, позволяющей преодолевать гидростатическое давление, а также наблюдение за тем, с какой экономией материала природа сумела защитить жизнь этих организмов".

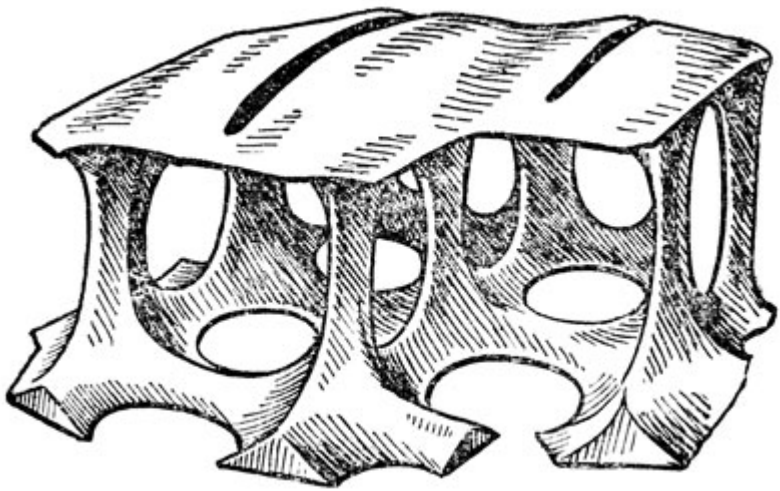


Рис. 22. Часть скорлупы диатомеи. Такая структура получается в результате очень плотного наслоения мелких пузырей, спаянных друг с другом по площадям контакта. На сводчатой поверхности имеются ребра жесткости

Радиолярий (они обитают в теплых морях) насчитывается около 6000 видов. Ниже мы воспроизводим несколько структур радиолярий возрастающей сложности (рис. 23). Познакомившись даже бегло с геометрической структурой этих маленьких морских организмов, не колеблясь можно сказать: они являют собой такое разнообразие форм, что их с избытком хватит на создание десятков тысяч новых архитектурных шедевров.

Итак, мы познакомились с тем, что уже позаимствовали зодчие у природы, с основными целями, задачами и методом биоархитектуры, а также с некоторыми направлениями ныне ведущихся поисков новых форм живых образований. Теперь остается рассказать о самой важной проблеме, которую пытается решить биоархитектура. Эту проблему кратко можно назвать так: "города и люди". Знакомство с ней нам придется начать с цифр и расчетов.

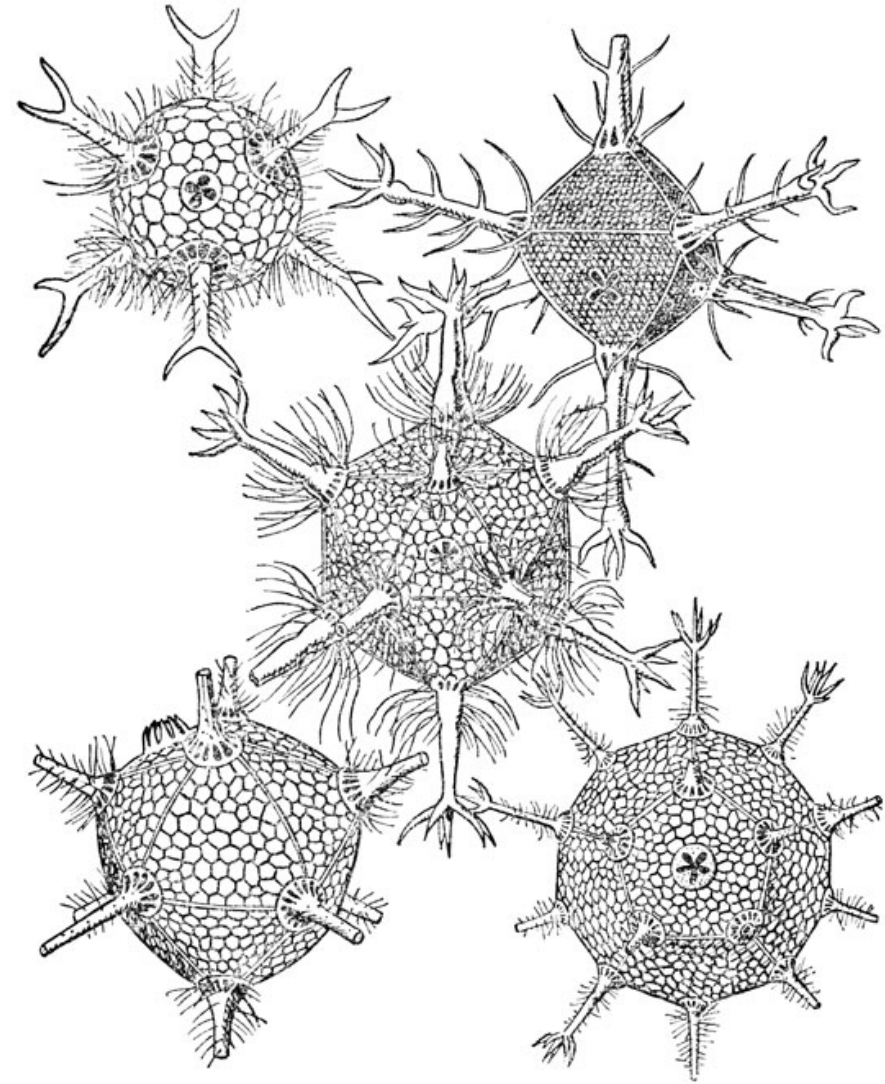


Рис. 23. Структуры радиолярий (по Геккелю)

В начале нашей эры население земного шара составляло 200 — 300 миллионов человек. К 1000 г. оно практически не увеличилось. В 1650 г. оно достигло 545 миллионов, в 1800 г. — 906, в 1900 г. — 1608, в 1940 г. — 2248, в 1950 г. — 2617, а в 1964 г. оно равнялось 3260 миллионам человек! Иначе говоря, за последние 60 лет, на которые пришлось две неслыханные по масштабу мировые бойни, население земного шара удвоилось. Демографы подсчитали, что на нашей планете сейчас каждую секунду появляется два новых человека. Следовательно, ежегодно население земного шара увеличивается на 62 миллиона человек.

Предположим, что средний годовой прирост землян в течение ближайших 32 лет останется на том же уровне; тогда к концу второго тысячелетия численность населения нашей планеты почти удвоится. Однако известно, что параметры воспроизводства населения (соотношение между рождаемостью и смертностью) быстро изменяются. Имеем ли мы право считать, что нынешний средний годовой прирост населения Земли начнет, допустим, с 1969 г. уменьшаться? Разумеется, нет! Наоборот, статистика убедительно говорит о том, что темп воспроизводства населения на земном шаре с каждым годом будет нарастать, причем значительно быстрее, чем до сих пор. Учитывая это, эксперты-демографы ООН пришли к заключению, что к 2000 г. на нашей планете будет жить 6,5-8 миллиардов человек, в 2050 г. — 15, в 2100 г. — 35-40, в 2200 г.- около 400 миллиардов, а в 2300 г. число землян перевалит за 1000 миллиардов!

Такова ситуация. Демографический "взрыв", как его принято называть, поставил перед учеными немало сложных вопросов. Один из них — важнейший — где найдет пристанище такая огромная масса людей? Ведь из 510 000 000 км^2 поверхности нашей планеты суша занимает только 149 000 000 км^2, а остальная ее часть покрыта морями и океанами. Около 70% суши занимают пустыни, горы, тундра, болота и вечные льды. Таким образом, годной "жилплощади" на Земле не так уж много. В 1930 г. на каждый квадратный километр суши приходилось в среднем 15 человек, сейчас — 24 человека, к концу нашего века их будет 54, а в 2100 г. плотность населения на всей суше (без Арктики и Антарктиды) превысит 300 человек на квадратный километр, т. е. достигнет величины, характерной для таких густонаселенных стран, как Бельгия и Голландия. Иными словами, через 150 лет мы должны быть готовы к тому, что все земляне станут жителями городов. Каких?

Города нашего времени увеличились до гигантских размеров и продолжают стремительно расти. Так, например, за последние 25 лет население многих городов СССР возросло в 2 — 3 раза: Алма-Аты — с 220 до 640 тысяч, Еревана — с 204 до 652 тысяч, Казани — с 398 до 804 тысяч, Минска — с 237 до 717 тысяч, Куйбышева с 390 до 969 тысяч жителей. В восьми городах СССР: Москве, Ленинграде, Киеве, Баку, Харькове, Новосибирске, Горьком, Ташкенте — численность населения превышает миллион человек. В Лондоне (с при городами) сейчас насчитывается 8348 тысяч жителей, в Токио — 10 800 тысяч и в Нью-Йорке (с пригородами) — 14 115 тысяч жителей.

Рассматривая современные города в пределах их административных границ, можно увидеть, что степень

концентрации городского населения весьма высока. Так, у нас в 187 больших городах (с населением свыше 100 тысяч человек) сосредоточено около 63 миллионов жителей — больше половины всего городского населения страны. В 29 крупнейших городах (с населением, превышающим 500 тысяч человек) живет около 31 миллиона человек, или четверть всего городского населения страны. В США в 1960 г. было 132 больших города, в которых проживало около 51 миллиона человек, и 21 крупнейший город, где проживало 28,6 миллиона. Рост населения и концентрация промышленности в больших и крупных городах — городах-"миллионерах" — приводят к тому, что в Лондоне на одном квадратном километре проживает сейчас 4,5 тысячи человек, в Праге — 5,5, в Москве — 7,2, в Риме-11, в Нью-Йорке — 13,2, в Токио — 16 и в Париже — 32 тысячи человек!

Большая часть современных городов-гигантов малоэтажна (в Лондоне, к примеру, средняя высота зданий составляет 1 $^1/_2$ этажа, в Токио — 1,6, в Москве — в среднем 2 этажа). Города занимают огромные территории, и людям приходится часами добираться до работы. Подсчитано, что 40% токийцев ежедневно тратят на дорогу (на работу и обратно) 3 часа, а 10% — 4 часа. Половина населения японской столицы тратит на дорогу половину энергии своего трудового дня. А ведь житель города ездит не только на работу и с работы; он бывает и в магазинах, в театрах, музеях, на выставках, посещает друзей (живущих порой на другом конце города), ездит за город отдыхать. Кто-то подсчитал, что каждый горожанин совершает сейчас в 25 раз больше поездок по городу, чем его дед или прадед 100 лет назад. На одного горожанина в среднем приходится до 600 — 700 поездок в год. На это уходит уйма времени. Достаточно сказать, что двухкилометровая поездка на автомобиле по центру Цюриха длится 10 — 15 мин (за это же время реактивный лайнер пролетает 300 км — расстояние от Цюриха до Женевы).

Выдающийся архитектор Ле-Корбюзье еще в 20-е и 30-е годы предлагал направить все движение автомобилей по высоко поднятым над землей эстакадам, а поверхность земли с ее зеленью и водоемами отвести только для людей. Эти интересные предложения, к сожалению, остались нереализованными. И сейчас нескончаемый поток машин буквально захлестывает улицы городов-гигантов, строившихся в то время, когда еще нельзя было предугадать нынешний объем уличного движения. Все большие города мира страдают сейчас от перенапряжения своих транспортных артерий. Но особенно мучительно эту болезнь переживают такие города, как Токио, Лондон, Париж и Нью-Йорк. Если сопоставить площадь улиц со всей территорией

города, то мы увидим, что в Нью-Йорке она составит 35%, в Париже — 26%, в Лондоне — 23%, в Токио — всего-навсего 10,3%. В часы "пик" над этими городами кружат полицейские вертолеты со специальными радиостанциями, которые информируют водителей о наиболее безнадежных пробках и подсказывают им возможные пути объезда. Впрочем, эта вторая задача становится все менее выполнимой даже при отличной технической оснащенности полиции городов-гигантов. Уличное движение все чаще превращается в "уличное стояние". Так, например, автомобили, рассчитанные на скорость 120 — 160 км/час, сейчас движутся по центральным улицам Парижа, Лондона, Токио и Нью-Йорка со скоростью 7 км/час, т. е. медленнее кареты и дореволюционной конки. Нью-йоркцы в часы "пик" нередко говорят друг другу: "Если времени нет, пойдем пешком, а если спешить некуда, возьмем такси". И далеко не всегда это говорится в шутку. Постоянные пробки на улицах городов-гигантов сводят почти на нет выигрыш во времени, который обеспечивает автомобиль в нормальных условиях.

И хотя автомашина ныне с трудом пробирается по улицам большого города, на которых еще часами приходится искать стоянку, хотя содержание машин обходится страшно дорого (дороже, чем пользование такси в течение года), а автомобильная езда ведет к катастрофам и уносит в могилу больше человеческих жизней, чем рак, туберкулез или сердечно-сосудистые заболевания, многие все же считают для себя жизненной необходимостью иметь автомобиль. Поэтому число автомашин на улицах городов из года в год быстро растет. Так, в столице Японии в 1950 г. было 65 тысяч автомашин, а за последующие 17 лет их число возросло в 17 раз! Токио стало средоточием 1100 тысяч автомобилей. Каждый год в городе прибавляется 100 тысяч машин. По улицам Лондона сейчас разъезжает 1 300 000 автомобилей. Англичане подсчитали, что в 1980 г. у них будет вдвое больше автомашин, чем сегодня. Советские градостроители в своих расчетах исходят ныне из возможности 10 — 15-кратного увеличения парка легковых автомобилей. Что же ожидает в недалеком будущем жителей больших старых городов при таком феноменальном росте числа автомобилей? На этот вопрос французский журналист Пьер Рондье в недавно опубликованной статье "Общество четырехколесных" ответил так: "К 1980 г. у нас (во Франции. — И. Л.) будет около 20 миллионов машин, и даже при небольшом воображении можно представить себе, как по улицам городов ползут автомобили со скоростью 3 км/час, а водители их мирно беседуют с шагающими рядом пешеходами..."

Но все сказанное выше о больших современных городах —

это еще не самое худшее. Известный английский писатель-фантаст, популяризатор науки Артур Кларк в своей новой книге "Черты будущего" пишет: "В 70-х годах ряд крупнейших городов Англии задохнется..." Аналогичным образом высказываются многие ученые относительно будущего Токио, Нью-Йорка и других старых городов-гигантов. И для таких мрачных предсказаний у них есть немало оснований. Земля окружена необъятным океаном чистого воздуха, на каждого человека приходится по 2,5 миллиона тонн. Между тем жители многих современных крупных городов чувствуют недомогание из-за отсутствия необходимых каждому человеку 15 — 20 кг чистого воздуха в день. 2,5 миллиона тонн в другом месте не приносят пользы, если воздух, находящийся у него под носом, загрязнен и опасен, если человек не может получить свои 15 — 20 кг в день там, где он живет и работает. Возьмем, к примеру, такой город, как Токио. По последним сообщениям печати, вереницы автомашин с включенными двигателями создают на перекрестках японской столицы такую атмосферу, что во многих полицейских будках пришлось установить кислородные приборы: регулировщики время от времени забегают туда отдышаться, чтобы не потерять сознание. Даже деревья на центральных улицах не выдерживают и чахнут. Каждый год то тут, то там приходится подсаживать новые. Помимо 1100 тысяч автомобилей в этом городе-гиганте чадят и дымят 100 000 фабричных труб. На каждый квадратный километр городской территории ежемесячно выпадает 23 т гари! Такая же картина наблюдается во многих крупных промышленных городах США, с той только разницей, что основная масса атмосферных ядов здесь выходит из бездымных труб и отлично отрегулированных двигателей ($^4/_5$ всех загрязнений невидимо, и большая часть их лишена запаха). "Сейчас загрязненный воздух, — читаем мы в журнале "Сатердей ивнинг пост", — угрожает здоровью большинства американцев, покрывает ржавчиной их имущество, омрачает или вовсе скрывает от глаз пейзаж, нарушает спокойствие. Загрязненный воздух — это уже не исключение для американских городов. Это правило". Специалисты подсчитали, что отравленный воздух городов США наносит только зданиям (краске, металлу и кирпичной кладке) ущерб, который они оценивают в 11 миллиардов долларов в год. Ущерб же, наносимый загрязненным воздухом здоровью жителей больших городов, нельзя оценить ничем. Достаточно сказать, что каждые пять лет в США удваивается число горожан, больных раком легких, эмфиземой, бронхитом и астмой.

Итак, совершенно очевидно, что давно сложившиеся большие

города вступают в резкое противоречие со всем строем современной жизни, потребностями человека и общества. Поскольку людям становится все труднее жить в современных городах-гигантах, многие градостроители требуют остановить их рост и строить города с населением в 50 — 300 тысяч жителей.

Допустим, сегодня это правильно, хотя мы отлично знаем, что все на Земле уже занято; бескрайних просторов в прежнем понимании у нас уже нет. А через 150 лет, когда число землян достигнет 40 миллиардов, придется построить более 100 000 городов-карликов по 300 тысяч жителей в каждом. Они расползутся по поверхности нашей планеты, изведут леса и луга, закуют

Землю в асфальтовую и бетонную броню. На родной планете почти не останется места для полей, рощ, дубрав и парков, а они абсолютно необходимы для поддержания кислородного баланса в атмосфере. Нет, города-карлики — это не решение проблемы.

Итак, вот условия нелегкой задачи: во-первых, рационально расселить миллиарды людей на Земле, чтобы жизнь их была благоустроенной и счастливой; во-вторых, сохранить как можно больше естественных богатств планеты: ее леса, зеленые насаждения, каждый гектар плодородной земли, каждый ручей, всех животных и птиц.

Решением именно этой задачи и занимается ныне биоархитектура. Надо строить "голубые города", говорят зодчие. Возводить их следует только на плохих землях, где нельзя ни пахать, ни сеять, ни добывать что-либо.

"Голубыми городами" биоархитектура называет грандиозные городские ансамбли, образуемые устремленными к небу домами высотой в сотни и тысячи метров, вмещающие население целых поселков и даже больших современных городов. Показателем населенности таких новых городов будет не число жителей, проживающих на квадратном километре Земли, а "объемная плотность". Разумеется, "голубые города" не будут похожими на современные западные города с их ущельями-улицами, где солнце — редкий гость. Это будут, выражаясь словами Ле-Корбюзье, "лучезарные города".

Что же позаимствовали инженеры и зодчие у природы для вертикального решения грядущих городов? Как известно, свободно стоящая колонна становится устойчивой только при защемлении ее у основания; массивная подземная часть обеспечивает устойчивость колонны. Боковые усилия, например давление ветра, создают напряжения изгиба, которые у основания достигают наибольшей величины. Самым простым методом обеспечения устойчивости колонны является утолщение ее

нижнего конца. В качестве примера укажем на мачты, башни, пилоны и фабричные трубы. Между тем у растущего дерева, у пшеничного колоса природа полностью разрешила эту "проблему". Динамическая нагрузка (от ветра) максимальна на верхнем конце этих природных конструкций. И если отношение высоты к наибольшему диаметру наших строительных конструкций до последнего времени не превышало 20 — 30, то природа дает нам примеры конструкций, у которых оно равно 50 — 100 (пальмы) и даже 200 — 300 (пшеница). Тщательное изучение этих и других аналогичных природных высотных конструкций привело ряд инженеров и архитекторов к идее сооружения высотных зданий нового типа.

Год или два назад немецкий архитектор Доллингер предложил проект высотного жилого дома по типу... елки. Макет этого здания, которое должно быть построено в Монреале, показан на рис. 24. Своеобразная форма дома объясняется тем, что архитектор стремился сделать все квартиры доступными для солнечных лучей. На железобетонном трубчатом "стволе", в котором проложены лифты, кабели, водопроводные и газовые магистрали, укреплены, словно ветви, квартиры. Каждая такая квартира крепится на отдельном кронштейне. Со всех сторон ее заливает солнечный свет. Полностью решена проблема звукоизоляции: над головой никогда не раздастся топот гостей, отплясывающих в квартире вверху живущих соседей.

Дом будет построен преимущественно из металла. Стены будут не толще самолетной обшивки, но они хорошо защитят жильцов от холода и жары. Квартиры-"ветки" стандартны, а это как нельзя лучше для серийного производства. Высота дома-"елки" 100 м, поверхность же опоры, на которой стоит здание, занимает очень мало места, всего 25 м^2. А это чрезвычайно важно для больших городов, где машинам уже сейчас негде развернуться на улицах.

Оригинальный проект вертикального города высотой 3200 м недавно разработал английский инженер Вильям Фришмен (рис. 25). Каждый дом-город по этому проекту должен иметь 850 этажей! Автор предлагает выполнить несущий костяк сооружений в виде древесных стволов с этажами-ветвями. Фундамент здания уйдет на 150 м в землю. Для увеличения поверхности опоры и предупреждения перегрузки он должен быть построен по образцу корневой системы дерева. Всюду предусмотрено кондиционирование воздуха, в том числе в квартирах на самых верхних этажах, где оно необходимо и для поддержания нормального давления. Архитектурный гигант рассчитан на размещение 500 тысяч человек. Постройкой таких домов-городов

Фришмен предлагает разрешить в Англии жилищную проблему..

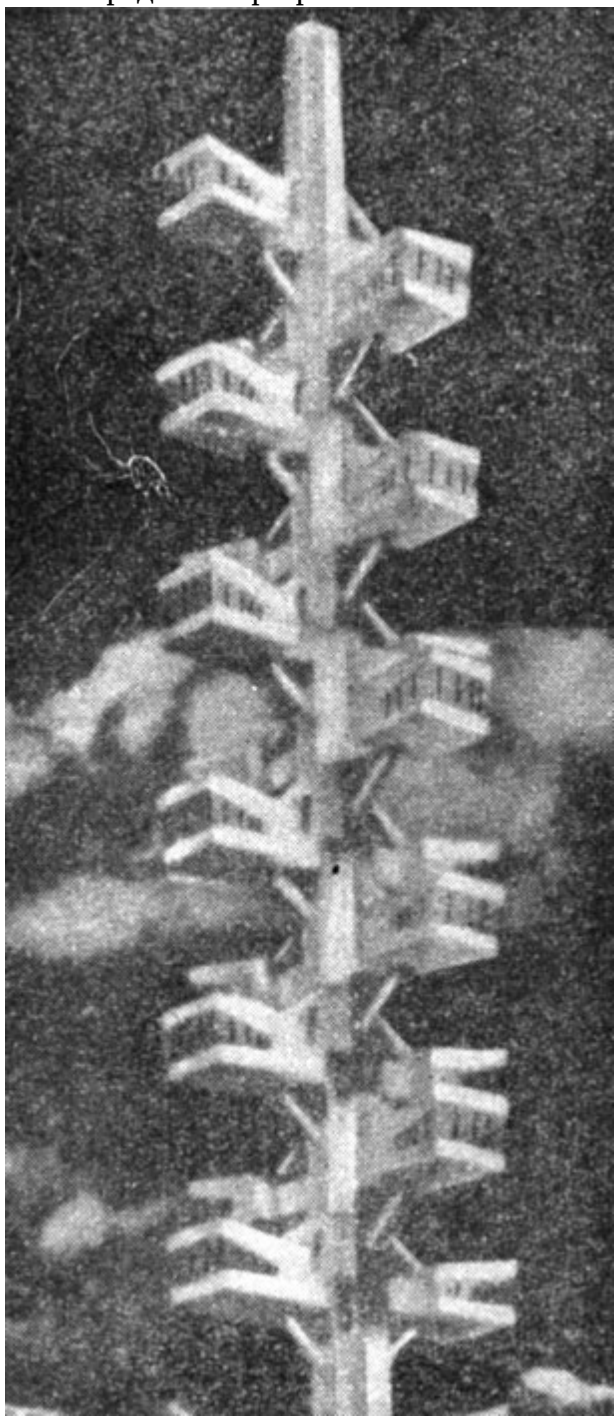


Рис. 24. Макет дома-'елки' высотой 100 м (архитектор Доллингер)

Расчеты показывают, что осуществление проектов, подобных фришменовскому, вполне по плечу человечеству уже на нынешней ступени научно-технического прогресса. Ведь уже сегодня промышленность выпускает материалы прочностью в 200 кг/мм^2. А завтрашний день обещает нам материалы со значительно большей прочностью. Материалов на единицу объема дома-города потребуется, по-видимому, значительно меньше, чем при сооружении современных городов. При меньшей затрате количества материалов на единицу объема дома-города, естественно, снизится и трудоемкость этой единицы. Наконец, сооружение больших домов-городов позволит добиться огромной экономии средств на коммуникациях и транспорте. В итоге, возводя дома-гиганты, человечество пойдет по пути резкого снижения материальных, трудовых и денежных затрат на строительство грядущих "голубых городов".

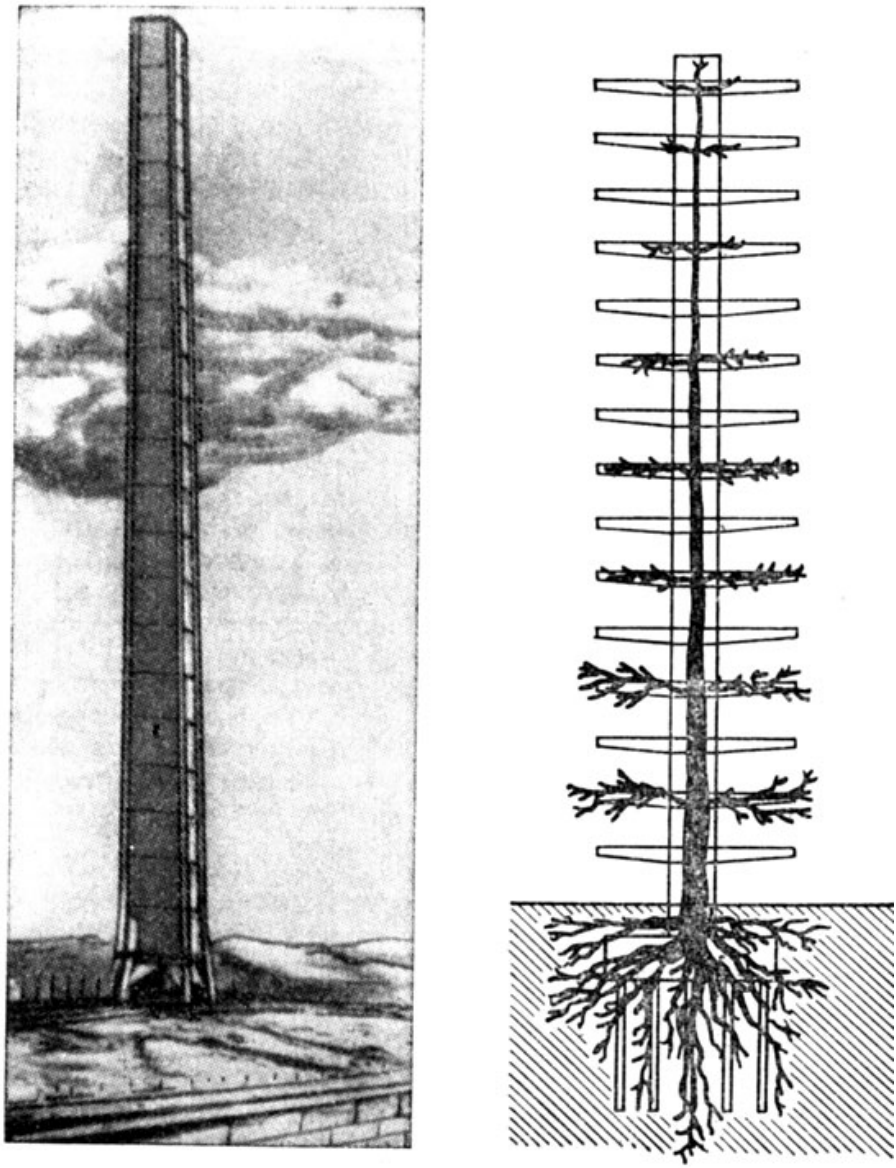


Рис. 25. Общий вид дома-города, разработанного английским инженером В. Фришменом (слева), и фундамент гигантской жилой башни, спроектированный по образцу корневой системы дерева (справа)

Говоря о достоинствах разрабатываемых проектов вертикальных городов, следует особо подчеркнуть стремление их авторов сделать здания внутри как можно интереснее и разнообразнее, создать в них удобную и приятную для жизни атмосферу. В биоархитектуре появилось и заняло доминирующее положение новое, не существовавшее раньше понятие

"обитабельность", под которым понимается степень пригодности здания для жизни. И эта новая забота о функциональности и удобстве внутренних пространств — желание планировать и оборудовать помещения так, чтобы они как можно лучше отвечали своему назначению, — начинает сказываться и на внешних контурах зданий.

Итак, будущее за многомиллионными городами. Строя дома-города, мы можем успешно решить проблему расселения десятков миллиардов людей, которые завтра будут жить на нашей родной планете. У нас есть все возможности сохранить для внуков и правнуков ныне имеющиеся на Земле леса, луга, плодородные поля, реки и озера, в нашей власти приготовить грядущим поколениям землян в "голубых городах" все блага, какие может дать цивилизация завтрашнего дня.

Разумеется, началу строительства грандиозных вертикальных городских ансамблей будет предшествовать не один опытный образец дома-города. Ведь многое из того, что архитекторы еще недавно определяли умозрительно и интуитивно, сегодня требует точного и научного решения, большой экспериментальной работы. Однако "голубые города" — это не туманное будущее. Уже сегодня мы можем мысленно совершить с вами, читатель, путешествие в один из таких городов. Давайте сядем в машину и проедем по его магистралям. Прямые и широкие, они ровной лентой бегут к горизонту среди зеленых аллей, полыхающих многоцветием клумб.

А вдоль улиц купаются в ярких солнечных лучах белоснежные стройные дома-деревья. Отделанные пластмассой и металлом, эти ажурные дома-красавцы поражают какой-то особой, удивительной легкостью, строгими линиями. В городе нет домов случайной ширины, длины или высоты, здесь все подчинено проекту, единой целью которого является создание наилучших условий для жизни людей. В каждый дом встроены торговые учреждения, кафе-рестораны, залы для собраний, кинотеатры, почта, школа, спортивные залы и бассейны для плавания. Каждая комната построена с таким расчетом, что находящийся в ней телевизор или радиоприемник может работать с максимально возможной громкостью и вместе с тем не будет никому мешать. Лифты и мусоросборники в домах работают беззвучно. Вентиляция и охлаждение квартир централизованы. Автоматическое управление климатом позволяет жильцам жить при температуре комфорта. В центре города — ни одного автомобиля. Тут лишь школы, высшие учебные заведения, клубы, театры, музеи, магазины, скверы. Здесь разрешено только пешеходное движение. Промышленные предприятия, научно-

исследовательские институты, административные учреждения, вокзалы и аэровокзалы находятся за чертой города. А далее вокруг города — зеленое кольцо шириной в 5 — 10 км — зона отдыха. Под городом на разных уровнях имеется широко разветвленная транспортная сеть.

Так выглядит "голубой город", город-сад, в котором будут жить наши внуки и правнуки. Где же находится этот сказочный, лучезарный город? Такого города пока нет. Он существует лишь в воображении архитекторов, инженеров-строителей, конструкторов, его можно увидеть на чертежах, рисунках и в макетах. Но, перефразируя Маяковского, можно сказать: "Мы знаем, город будет!"

Беседа девятая. Покорение голубого континента

Взгляните на глобус или карту полушарий. Они окрашены в различные цвета, но больше всего бросается в глаза голубой цвет заливов, морей и океанов. Под водой находится 361000 000 км^2 нашей планеты. Это почти в два с половиной раза больше всей площади суши (149 000 000 км^2). Чаша Мирового океана наполнена 1370 000 000 км^3 воды. В этом объеме растворено около 50 000 000 миллиардов тонн солей. Из них на долю хлористого натрия, т. е. обыкновенной поваренной соли, приходится 38 000 000 миллиардов тонн, на долю сульфатов — 3 300 000 миллиардов, магния — 1 600 000 миллиардов, калия 480 000 миллиардов и брома — 83 миллиарда тонн.

Современная наука считает, что вещества, растворенные в морской воде, еще на заре истории Земли были вымыты текучими водами из магматических пород (частично они поступили и из атмосферы). Ныне сокровищницу Мирового океана продолжают пополнять многочисленные реки — общее количество выносимых ими растворенных веществ составляет 3 265 миллионов тонн в год, т. е. в среднем со всей территории суши в океан выносится 23 т с 1 м^2 в год! Подсчитано, что, если бы удалось собрать всю массу находящихся в морской воде минеральных веществ и распределить ее ровным слоем по поверхности суши, получился бы "бутерброд" толщиной 200 м, в котором присутствовали бы все элементы периодической системы. В каждом литре морской воды содержится, к примеру, 3,34 мкг урана. Несмотря на ничтожность этой концентрации, морские запасы этого важнейшего для атомной энергетики элемента составляют 4 000 000 000 т! Из растворенных в Мировом океане веществ можно извлечь (в расчете на каждого жителя Земли) по 3 т золота, 60 т серебра, 100 т молибдена, а также торий и другие ценнейшие металлы.

Не менее фантастичны минеральные богатства океанского дна. Так, например, установлено, что почти 4/5 площади Персидского залива занято нефтеносными участками промышленного значения. Здесь расположено крупнейшее в мире морское месторождение Кхафджи-Сафания, запасы которого оцениваются в 8,5 миллиарда тонн нефти. Уникальны по запасам нефти и дно лагуны Маракаибо и прилегающая к ней часть суши в Венесуэле. Имеются все основания полагать, что количество нефти и газа, заключенное в недрах разделяющей Азербайджанскую и Туркменскую республики части Каспия,

больше, чем в юго-восточном Азербайджане и западной Туркмении, вместе взятых. Нет сомнений в наличии нефти и газа под дном Охотского моря вблизи берегов Сахалина. Очень перспективны в отношении месторождений газа и нефти отдельные части Черного, Аральского, Баренцева, Карского и других морей. Даже сравнительно небольшой залив Кука на Аляске и тот оказался нефтегазоносным. В нем открыто четыре месторождения нефти и два месторождения газа. Тщательное изучение всех данных, полученных в результате различных океанографических исследований, позволяет предполагать, что под дном водных бассейнов сосредоточено более половины запасов нефти и газа, имеющихся в земной коре. В южной части Тихого океана недавно выявлены большие запасы каменного угля. У берегов Малайзии и Индонезии обнаружены гигантские залежи олова, в Мексиканском заливе — сера.

Исследования показывают, что под огромным океанским ложем скрываются богатейшие железо-марганцевые месторождения. В некоторых местах дно на глубинах 4 — 6 тысяч метров напоминает булыжную мостовую. Оно сплошь усеяно округлыми камнями черно-коричневого цвета. Минералоги называют их конкрециями. Размеры этих конкреций различны: есть с кулак, есть более крупные и более мелкие. По самым скромным расчетам, их запасы только на дне Тихого, Индийского и Атлантического океанов составляют 300 — 350 миллиардов тонн, всего же в донных осадках Мирового океана хранится, по данным Специальной комиссии Научного комитета Международного совета научных обществ при ООН, около 1000 миллиардов тонн железо-марганцевых конкреций. Они в среднем содержат 20% марганца, 15% железа и по 0,5% кобальта, никеля и меди. По расчетам наших ученых, мировые запасы кобальта на суше составляют 1 000 000 т, а в одних только конкрециях его содержится около 1 000 000 000 т. Кроме того, в железо-марганцевых конкрециях присутствуют радиоактивные, рассеянные и редкие элементы. В частности, они содержат таллия в 50 — 100 раз больше, чем осадочные породы. На дне Мирового океана лежит около 100 миллиардов тонн фосфатных конкреций (с содержанием пятиокиси фосфора, достигающим 30%), а глобинеринового ила, отвечающего по своему составу хорошему цементному сырью, — 1 000 000 миллиардов тонн.

Мировой океан по праву можно назвать "голубым континентом" жизни. В толще его вод, покрывающих почти $^3/_4$ поверхности земного шара, обитает более 150 тысяч видов живых созданий, от микроскопических бактерий до гигантских китов, от почти лишенных нервной системы медуз до дельфинов, по

уровню своей организации превосходящих почти всех наземных высших животных. Одних только рыб в морях и океанах насчитывается 16 тысяч видов, а общий их вес превышает 1 000 000 000 т. Запасы моллюсков, ракообразных и других беспозвоночных животных составляют не менее 25 — 30 миллиардов тонн. У обитателей голубого континента обильная кормовая база. Да и какие это корма! По данным ЮНЕСКО, у берегов Чили "...на площади более тысячи квадратных миль — настоящие, вечно цветущие луга, не уступающие по своей продуктивности самым плодородным черноземным полям Украины". В биомассе, насыщающей воды морей, содержится огромное количество белков и углеводов, жиров и витаминов, различных ферментов и антибиотиков. Одна хорошо известная питательная водоросль — хлорелла содержит до 50% белков (в пшенице их всего лишь 12%), и при этом она дает в 14 раз больший урожай, нежели пшеница. Ряд ученых указывает на 17 000 различных видов морских водорослей и планктона, способных давать до 50 урожаев в год. Не мудрено, что ежегодный прирост одних только водорослей специалисты исчисляют астрономической цифрой в 550 миллиардов тонн. Общая масса планктона в Мировом океане значительно превышает всю массу живых организмов, обитающих на суше. Планктон служит пищей для мелких морских животных, которых в свою очередь поедают мелкие рыбы, а тех пожирают крупные рыбы. Питаясь рыбами и планктоном, богатым витаминными и жировыми компонентами, блювалы (голубые киты) в течение 3 — 4 лет достигают 33 м в длину и веса 120 т, тогда как сухопутным гигантам — слонам требуется 30 — 40 лет, чтобы достичь обычного для них роста и веса. Короче говоря, проблемы заготовки кормов на бескрайних просторах голубого континента не существует. Если мощность плодородного почвенного слоя суши невелика, в среднем она достигает 0,5 — 1 м, то в морях и океанах продуктивный слой достигает 100 — 200 м. По самым скромным подсчетам ученых, кормовые ресурсы Мирового океана в четыре раза больше, чем суши, и достигают 40 миллиардов тонн в год.

Таковы, далеко еще не все известные ныне, поистине сказочные сокровища царства Посейдона. Моря и океаны — это своего рода гигантский природный склад несметного количества минеральных и органических веществ. Между тем из этих несметных богатств голубого континента человечество использует едва ли тысячную долю. И вовсе не потому, что ему хватает полезных ископаемых и пищевых продуктов, производимых на суше. Причина здесь иная. Для того чтобы

поставить огромные минеральные, топливные, химические и прежде всего биологические ресурсы морей и океанов на службу людям, человек должен обжить их глубины, приспособиться к длительной подводной жизни. Эту важнейшую задачу известный советский ученый член-корреспондент Академии наук СССР Л. Зенкевич сформулировал так: "Человечеству надо "перестраиваться" на океан. Это неизбежно, и в этом деле нельзя проявлять близорукость".

Каковы же реальные перспективы освоения голубого континента хозяином природы — человеком?

История проникновения человека под воду берет свое начало в глубокой древности. Сперва опытные и выносливые ныряльщики без всякого снаряжения опускались на глубину более 30 м и оставались там до 3 мин. Позднее ныряльщики стали брать с собой кожаный мешок с воздухом, что позволило им увеличить время пребывания под водой. Далее на смену кожаному мешку пришел водолазный колокол. Затем появился скафандр — прототип современного вентилируемого водолазного снаряжения. В нем водолаз мог уже спускаться на глубину до 80 м, но передвижение его под водой ограничивалось длиной шланга. В конце прошлого века англичане Флеусс и Девис изобрели индивидуальный бесшланговый водолазный прибор, предназначенный для спасения экипажей подводных лодок, потерпевших аварию. Прибор работал по замкнутой схеме: человек дышал кислородом, циркулирующим из аппарата в легкие и обратно. Углекислый газ, выделяемый при выдохе, поглощался специальным химическим поглотителем, а кислород, потребляемый организмом, возмещался из баллона. Такие и подобные им аппараты, несомненно, принесли значительную пользу. Однако дальнейшему широкому внедрению их в водолазное дело препятствовали некоторые, весьма существенные недостатки, выявившиеся в процессе эксплуатации приборов. Пользоваться таким снаряжением могли только хорошо подготовленные водолазы и лишь на глубинах до 20 м.

В 40-е годы нашего столетия был изобретен акваланг — "подводные легкие" — новый автоматический дыхательный аппарат для подводного плавания. Его создали моряк французского военного флота, ныне всемирно известный специалист по океанографии Жак-Ив Кусто и инженер Эмиль Ганьян. Для дыхания в акваланге применяется обычный воздух, который подается в легкие пловца под давлением, соответствующим глубине погружения ныряльщика.

Первые опыты показали, что пловец, вооруженный аквалангом, может свободно достигать глубины 40 — 50 м. А где

же предел? На этот вопрос решил дать ответ в 1947 г. блестящий французский водолаз, опытный подводный пловец Морис Фарг. Эксперимент закончился трагически. Во время погружения Фарг вдруг перестал подавать сигналы. Его подняли на поверхность уже мертвым. Глубиномер, укрепленный на руке водолаза, показывал 120 м. "Гибель Фарга и результаты его изысканий показали нам, — писал позднее Кусто, — что 300 футов (~90 м) — предел для ныряльщика с аквалангом". Пятнадцать лет спустя опытный подводник, адвокат из Майами Хопп Рут предпринял попытку поставить новый рекорд. Он медленно погрузился до глубины 136 м. Остановился. Затем начал погружаться далее. Внезапно сигнальный конец безжизненно обмяк. Хопп Рут перестал отвечать на тревожные вызовы товарищей. Когда конец подняли на поверхность, он был пуст. Тело Рута не нашли.

В решении проблемы глубоководного погружения человека имеется много трудностей. Перечислим главные из них. При спуске на каждые 10 м давление воды на тело акванавта увеличивается примерно на 1 кг/см^2 поверхности. Таким образом, на глубине около 300 м создается давление в тридцать раз выше атмосферного. У ныряльщиков с автономным дыхательным аппаратом, у водолазов, дышащих сжатым воздухом, на глубине 40 — 60 м наступает так называемое глубинное опьянение. При дыхании сжатым воздухом на больших глубинах компоненты, составляющие дыхательную смесь, растворяются в крови и мышечных тканях ныряльщика. При быстром всплытии, т. е. при резком снижении давления, растворенные в крови и мышечных тканях водолаза газы начинают бурно выделяться пузырьками, точь-в-точь как при открывании бутылки с газированной водой. Разносясь вместе с кровью по всему телу, увеличиваясь в объеме, эти пузырьки могут вызвать закупорку кровеносных сосудов и привести к тяжелому поражению внутренних органов — заболеванию, известному под названием кессонная болезнь, кончающемуся иногда смертью. Чтобы этого не произошло, всплывать надо медленно, делая по мере всплытия остановки. Длительность декомпрессии такова, что время полезного пребывания под водой на большой глубине составляет лишь $^1/_8$ — $^1/_{10}$ всего времени погружения.

И все же, как ни сложна и ни трудна проблема покорения глубин голубого континента, человек не желает расставаться с этой вековечной мечтой. Более того, в самые последние годы освоение океанских глубин почти нацело перестало быть фантастикой. Об этом сейчас всерьез думают бионики и океанологи, математики и физиологи, врачи и инженеры, а вместе с ними — тысячи романтиков, влюбленных в голубой

континент.

Думают, ищут, проверяют, экспериментируют. И небезуспешно. Так, например, в 1959 г. в газетах всего мира появились сообщения о погружении молодого швейцарского ученого Ганса Келлера на глубину 120 м. Затем Келлер неоднократно опускался в обычном легководолазном снаряжении на глубину в 156 м. Наконец, 3 декабря 1962 г. он успешно погрузился в водяной барокамере (где были созданы условия, близкие к природным) на 300 м. Давление воды на все тело ныряльщика составляло около 600 г!

Значимость опытов Келлера трудно переоценить. Прежде всего, они показали принципиальную возможность погружения человека с аквалангом на глубину, ранее считавшуюся недоступной. Не менее важно и другое. Своими экспериментами ученый, как об этом будет рассказано ниже, доказал возможность резкого сокращения времени декомпрессии.

Как же удалось всего этого достигнуть Келлеру?

В отличие от Мориса Фарга, Хоппа Рута и других экспериментаторов, установивших рекорды глубоководного погружения эмпирически и заплативших за это своей жизнью, швейцарский ученый, прежде чем приступить к практическому решению проблемы спуска на большие глубины, провел большую исследовательскую работу. Начав в 1956 г. заниматься подводным плаванием, изучая теорию и практику "водолазания", он очень скоро убедился в том, что в физиологии погружения много белых пятен. Первое, что Келлер поставил под сомнение, — это справедливость широко распространенной теории, согласно которой причиной глубинного опьянения является азот (отсюда часто употребляемый термин "азотный наркоз"). Ученый предположил, что здесь дело вовсе не в азоте, а в слишком большом количестве кислорода в воздухе, которым под давлением дышит водолаз. Именно кислород, по глубокому убеждению ученого, должен вызывать "опьянение". Поддержанный профессором Бюльманом, занимавшимся в Цюрихском университете физиологией дыхания, Келлер при первом своем погружении в 1959 г. дышал смесью, в которой было только 5% кислорода; остальные 95% приходились на долю азота! С глубины 120 м Келлер по телефону отвечал на вопросы корреспондентов, не испытывая никаких симптомов "азотного наркоза"!

Затем Келлер обратился к проблеме декомпрессии. Сущность ее кратко заключается в следующем. Выше уже говорилось, что для предотвращения кессонной болезни водолаза следует поднимать на поверхность очень медленно, дабы его организм

постепенно приспособился к перемене давления. Процесс этот очень длителен. Так, водолаза, проработавшего час на глубине 90 м, поднимают по крайней мере 8 — 10 час. После суток, проведенных на глубине 160 — 170 м, подъем длится 6 — 8 дней. Учитывая продолжительность декомпрессии и низкую температуру окружающей воды, нужно считать, что длительность однократного пребывания водолаза на большой глубине практически ограничена 20 мин. Поэтому обычные водолазные работы длительны, малоэффективны и требуют больших расходов. Например, при работе на подводной нефтяной скважине, для того чтобы завернуть несколько болтов, группа водолазов должна совершить десяток погружений в течение многих дней. А так как на работу одного водолаза в течение 20 мин нужно затратить (по американским данным) несколько тысяч долларов, то стоимость подводных работ составляет почти половину доходов от разработки скважины.

Прибегнув к помощи электронных вычислительных машин, Келлер получил девять килограммов таблиц с различными режимами выхода водолазов на поверхность. С этим поистине драгоценным грузом ученый отправился на озеро Лаго Маджоре (Швейцария), чтобы продемонстрировать свою новую методику скоростной декомпрессии. Погрузившись на глубину 222 м, Келлер появился на поверхности через 53 мин. А при имитации ныряния в барокамере подводной научной исследовательской группы в Тулоне ученый после нескольких минут пребывания на глубине 300 м возвратился к нормальному давлению еще быстрее. Время собственно декомпрессии не превышало 48 мин. Чтобы по достоинству оценить одержанную Келлером победу, достаточно привести такой пример. В 1956 г. лейтенант британского военно-морского флота Джордж Вуки достиг рекордной глубины погружения — 180 м. После минутного пребывания на этой глубине его поднимали на поверхность в течение 12 час!

На разработанную и успешно опробованную методику необычайно быстрой декомпрессии Ганс Келлер получил в Англии патент. Существо его состоит в следующем. Известно, что время декомпрессии зависит от количества растворенного в тканях тела газа и скорости его выделения при снижении давления. Скорость выделения, а следовательно, и растворения инертного газа в тканях тела зависит от его молекулярного веса. Легкие газы растворяются быстрее, тяжелые — медленнее. Именно это свойство и использовал в своем методе Келлер. По его мнению, наибольшее сокращение времени декомпрессии достигается тогда, когда водолаз на каждом последующем этапе

подъема дышит более тяжелой дыхательной смесью, чем на предыдущем. Один из режимов выхода с глубины 300 м, предложенный Келлером, выглядит так. На глубине от 300 до 90 м водолаз дышит смесью гелия и кислорода (последнего в смеси безопасное количество). От 90 до 60 м водолаз пользуется более тяжелой дыхательной смесью — переходит на азотно-кислородиую атмосферу. При этом из его крови и тканей начинает выделяться гелий, причем процесс выделения идет быстрее процесса накопления азота. С 60 до 15 м водолаз дышит аргоно-кислородной смесью и из его тканей выделяется и гелий, и успевший раствориться азот. Наконец, по достижении пятнадцатиметровой глубины водолазу дают чистый кислород, и он выходит на поверхность.

Таких промежуточных смесей может быть много. Все зависит от глубины погружения и времени работы на дне. Келлер считает, что для дыхания можно использовать ряд инертных газов в следующей последовательности: водород, гелий, неон, азот, аргон, криптон и ксенон. Однако на самом деле может оказаться, что не все эти газы пригодны для дыхания — ведь пока что люди дышали смесью кислорода с водородом, гелием, азотом и неоном. Важно и другое — мало знать состав дыхательных смесей, необходимо овладеть всеми способами их применения. Увы, именно это автор и держит пока в секрете.

Научившись погружаться в воду на глубины, которые еще недавно считались недоступными для аквалангиста, Келлер не успокоился. Он продолжает вести энергичные исследования в этом направлении, отрабатывает и разрабатывает новые газовые смеси, и, по-видимому, его работа идет настолько успешно, что недавно, достигнув нового рекордного рубежа в 400 м, Келлер заявил: "Я нырну на глубину в 1000 м!" И это не пустое бахвальство; Ганс Келлер — серьезный ученый, он уже многого достиг и, надо полагать, еще многое сделает для достижения намеченной цели.

Не так давно внимание ученых, занятых решением проблемы длительного пребывания человека под водой, привлек маленький восьминогий водолаз — паук серебрянка. Почему же именно он, а не какой-нибудь другой паук заинтересовал вдруг исследователей морских глубин? А дело вот в чем. Из 20 000 обитающих на земном шаре пауков различных видов только одна-единственная серебрянка по достоинству оценила богатство подводного мира, научилась искусно плавать и погружаться в водоемы в поисках "деликатесов" — дафний, водяных осликов, мелких личинок насекомых. Чтобы легче было подкарауливать добычу и с "комфортом" подолгу жить в мелких, заросших прудах, речных

заводях, паук "изобрел" для себя оригинальное подводное жилище, по форме напоминающее колокол. Строит он его из паутины и водяных растений, а затем наполняет воздухом. Технология возведения этого ажурного и прочного строения вкратце такова. Забравшись в самую гущу подводных зарослей, серебрянка поначалу протягивает от стебля к стеблю несколько паутинок. Затем плетет плоский навес — основу дома. Когда навес готов, паук выбирается на поверхность, захватывает скрещенными задними лапками пузырек воздуха и бережно переносит его под сплетенный навес. Заготовка воздушных пузырьков производится до тех пор, пока навес не выгнется до отказа вверх наподобие купола. На этом постройка подводного воздушного замка заканчивается. Остается лишь протянуть во все стороны от него ловчие сети из паутины. Когда и эта работа выполнена, паук-строитель превращается в терпеливого подводного охотника. Запасшись вдосталь воздухом, он может неделями не покидать своего жилища.

Так сама природа указала ученым один из возможных путей освоения глубинных просторов Мирового океана. Впервые принцип "изобретенного" серебрянкой водолазного колокола был реализован Эдвином Линком и бельгийским подводником Робертом Стенуи. В построенном Линком цилиндрическом батискафе (длиной 3,35 м и около 1 м в диаметре) с высоким внутренним давлением, оборудованном специальными установками для нагнетания внутрь различных смесей гелия и кислорода с соответствующей их очисткой, Стенуи опустился в 1962 г. в районе Вильфранш (Французская Ривьера) на глубину 60 м и пробыл там около 24 час. Часть времени он находился внутри батискафа, а иногда выходил из него. Будучи первым в мире человеком, который дышал сжатой гелиево-кислородной смесью, Стенуи перестал на какое-то время быть земным существом. В таком состоянии Стенуи был поднят в батискафе на борт вспомогательного судна, где Эдвин Линк и его помощники в течение двух дней постепенно регулировали состав гелиевой смеси и снижали давление в батискафе.

Спустя месяц (14 сентября 1962 г.) после эксперимента, проведенного Линком и Стенуи, Жак-Ив Кусто создал первое в истории человечества подводное поселение ("Преконтинент-I") на дне Средиземного моря неподалеку от Марселя.

Подводный дом (его назвали "Диогеном" в память о древнегреческом философе, жившем, по преданию, в бочке), в котором обитали два французских исследователя Альбер Фалько и Клод В если, был установлен на якоре на глубине 10 м. Длиной в 6 ж и высотой в 2 м, он по внешнему виду был очень похож на

железнодорожную цистерну, снятую с грузовой тележки и опрокинутую люком вниз. Внутри его обили поглощающей влагу губчатой резиной и установили отопительные батареи. Постоянная температура (22 — 26° Ц) в "Диогене" поддерживалась при помощи инфракрасных ламп. Сверху с обслуживающих судов "Калипсо", "Эспадон" и с берега к подводной "гостинице" были подведены электрокабели, гибкие трубопроводы для подачи холодной и горячей пресной воды, а также свежего воздуха под давлением 2 атм (что соответствует давлению, испытываемому на данной глубине). Между обитателями подводного дома и членами экспедиции "Преконтинент-1", находившимися на борту обслуживающих судов, была установлена прямая телефонная связь. Кроме того, в подводном доме была установлена телевизионная камера, позволявшая вести с "Калипсо" непрерывное наблюдение за всем, что происходит внутри "Диогена".

Каждая система была дублирована: компрессоры, подающие в подводный дом воздух под давлением, телевизионные мониторы, аварийный генератор, телефонные линии, одноместные рекомпрессионные камеры (воздух и электричество подавались в подводную обитель с берега, так как вспомогательные суда мог сорвать с места и отнести в сторону шторм). Меблировка "Диогена" состояла из двух кроватей, стола и стульев. Так как в условиях повышенного давления приготовление горячих обедов, завтраков и ужинов — дело довольно хлопогли-вое, требующее большой затраты драгоценного для исследователей времени, водолазы с "Эспадона" доставляли обитателям подводного дома готовую пищу в герметических термосах. В доме стояла электроплитка — можно было разогреть пищу или самим сварить что-либо в случае перебоев в доставке. В часы досуга к услугам акванавтов были телевизор, принимавший программу центрального вещания, радиоприемник, небольшая библиотечка и даже патефон. На поверхности участников опыта обслуживало 60 человек, в том числе бригада из 15 подводных пловцов-связных.

Поскольку давление внутри и вне "Диогена" было одинаковым (две атмосферы), проникновение воды в жилище исключалось и люк держали постоянно открытым. Через "жидкую дверь" акванавты в любое время могли выходить наружу, чтобы выполнить заданную программу работы. Так как акванавты постоянно были подвержены одинаковому давлению как в помещении, так и в открытом море, не было необходимости в сложной процедуре декомпрессии, связанной с длительным пребыванием на глубине. Глубина, на которой находился

"Диоген", была для акванавтов, в сущности, нулевой. Отсюда они могли производить регулярные и длительные заплывы. Практически исследователи могли находиться под водой сколько угодно. Однако выплывать на поверхность, за границы давления меньшего, чем 2 атм, им запрещалось, ибо это грозило заболеванием коварной кессонной болезнью.

Опытные аквалангисты Фалько и Весли сравнительно быстро акклиматизировались и ежедневно совершали путешествия в море на глубине до 30 м длительностью до 5 час (около часа они проводили в море ночью). Во время своих "прогулок" отважные морежители выполняли, согласно плану, утвержденному Кусто, различную работу: производили топографические съемки отдельных участков морского дна, занимались биологическими изысканиями, наблюдали за жизнью и поведением рыб, охотились за ними и даже "...складывали из цементных блоков дома для рыб, прототип тех поселков, которые в будущем превратят станции континентального шельфа в подлинные ихтиологические ранчо". Правда, первые 3 — 4 дня подводной жизни проходили не так легко и гладко. Об этом свидетельствуют следующие записи, сделанные Фалько в своем дневнике:

> Третий день: "...сил нет. Надо поменьше напрягаться, иначе не справлюсь. Боюсь, что не выдержу до конца. Работать под водой стало ужасно тяжело. За что ни возьмись — невероятно трудно..."
>
> Четвертый день: "...много лет я спал без снов, теперь наверстываю, мне снится кошмар, которого я никогда не забуду. Угнетенное состояние, удушье, тоска и страх. Меня душит чья-то рука. Надо уходить. Вернуться на поверхность. Просыпаюсь, иду к люку. Все в порядке... Ложусь опять, но не могу уснуть. Я одинок, заперт в ловушке. Нас приговорили жить неделю под водой. На поверхность подниматься нельзя. Избавиться от азота можем только с помощью тех, кто наверху. Чувствую страх, безрассудный страх. Чтобы успокоиться, думаю о своих товарищах. Они приняли все меры предосторожности. И сейчас наблюдают за мной. Нет, не могу успокоиться. Меня преследует нелепая мысль: что, если давление упадет и ворвется вода? С какой скоростью она будет подниматься? Конечно, в верхней части дома все равно останется какое-то количество сжатого воздуха, мы успеем надеть акваланги и выйти наружу. А дальше? Сразу всплывать нельзя. Придется ждать, пока не придумают, как устроить декомпрессию.

Звук уходящего к поверхности воздуха невыносим, а днем его почти не слышишь. Пузыри булькают, булькают, словно в огромном котле. Или будто галька на берегу, когда ее перекатывает прибоем в шторм. Никак не могу уснуть".

Но постепенно жизнь акванавтов вошла в норму. "Разница между "внутри" и "снаружи", — пишет Кусто в своей книге "В мире безмолвия", — стиралась. Фалько и В если переходили из воздуха в воду, из воды в воздух спокойно, точно пришел конец антагонизму стихий. Они были живым знамением удивительного будущего: появится как бы новый вид человека, гомоакватикус, обитатель гидрокосмоса; он, а не приборы, осуществит древние мечты — покорит царство Нептуна, воплотит в жизнь миф о Главке".

На пятый день пребывания под водой Фалько записал в своем дневнике: "Стало спокойнее... Теперь я верю, что можно подолгу жить под водой и на больших глубинах. А вдруг люди будут совсем забывать о земле? Если разобраться, мне сейчас безразлично, что происходит там наверху. Такое же чувство у Клода. Мы живем по тому же времени, что они, я знаю об этом, так как нам сообщают, который час. Но меня это ничуть не трогает. Здесь время идет как-то особенно быстро, часы просто ни к чему. Если бы они сказали мне, что мы спустились только вчера и останемся под водой еще шесть дней, я отнесся бы к этому совершенно спокойно".

Первое подводное поселение "Преконтинент-I", открывшее новую эру в покорении глубин голубого континента, просуществовало 7 суток, точнее 169 час. Оно показало, что, живя в подводном доме под давлением, соответствующим глубине погружения, опытный водолаз или аквалангист может легко работать на глубине 30 м в течение 5 — 8 час ежедневно; по окончании работы он имеет возможность хорошо отдохнуть в своем подводном убежище. Подводный дом избавляет аквалангистов от необходимости ежедневных погружений и прохождения неприятной процедуры декомпрессии. Декомпрессия производится лишь один раз, когда аквалангист по окончании порученной ему работы возвращается на сушу. Но можно, оказывается, обойтись и без декомпрессии. "Сперва мы думали, — пишет Кусто, — что придется их (гидронавтов. — И. Л.) подвергнуть длительной декомпрессии в большой барокамере в Марселе, однако, надышавшись в последний день в течение двух часов перед всплытием газовой смесью, состоявшей из 80% кислорода и 20% азота (соотношение, почти обратное их

соотношению в воздухе), Фалько и Весли быстро всплыли, легко поднялись на борт "Калипсо", приняли душ, оделись и пошли на палубу поздороваться со всеми участниками экспедиции "Преконтинент-I". А через два дня люди моря отправились бродить по шумному городу, но видели все вокруг точно сквозь призму великого секрета, известного только им одним".

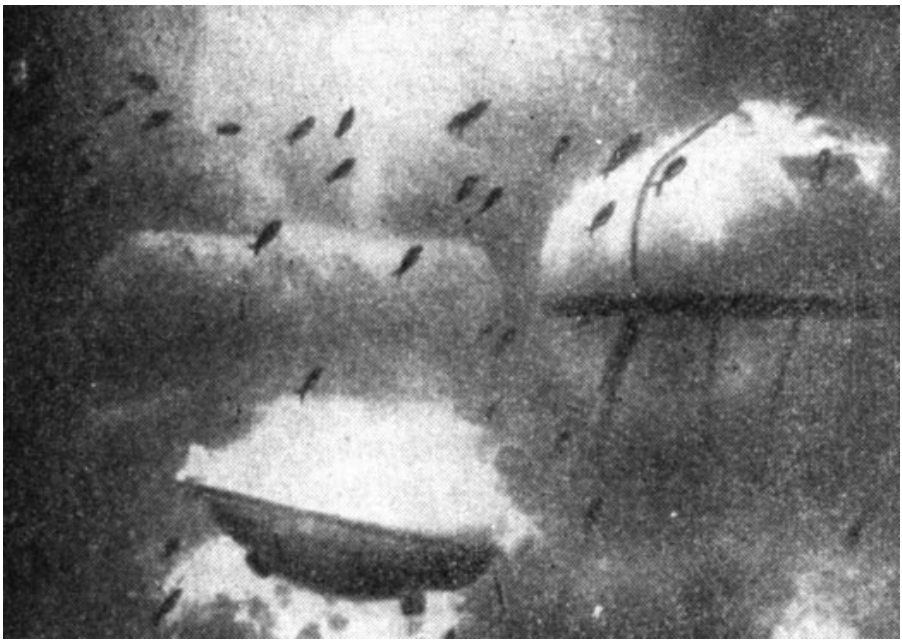


Рис. 1. Подводный снимок поселения 'Преконтинент-II'

Окрыленный успехом экспериментов на дне Лионского залива. Жак-Ив Кусто 15 июня 1963 г. организовал вторую подводную экспедицию — "Преконти-нент-П", задачу которой ученый сформулировал так: "По моему твердому убеждению, нет смысла ограничиваться просто подводными вылазками. Они должны прокладывать путь для научного исследования, разведки и более обширной разработки богатств моря. А конечная цель — чтобы человек обосновался на дне морском на много дней, недель, даже месяцев. Жизнь коротка, и мне захотелось ускорить изыскания, разведку и освоение, вести их одновременно, учредить на материковой отмели (наиболее богатой и доступной нам части Мирового океана) действующую подводную станцию".

Новое, состоящее из трех металлических домиков, поселение, о котором принято говорить как о целой "подводной деревне", расположилось в районе живописного кораллового рифа Шааб-Руми в Красном море, в 46 км к северо-востоку от Порт-Судана (рис. 1). В отличие от первой, у второй экспедиции был совсем

другой размах — значительно больше людей, более совершенное снаряжение, да и забрались исследователи морских глубин подальше.

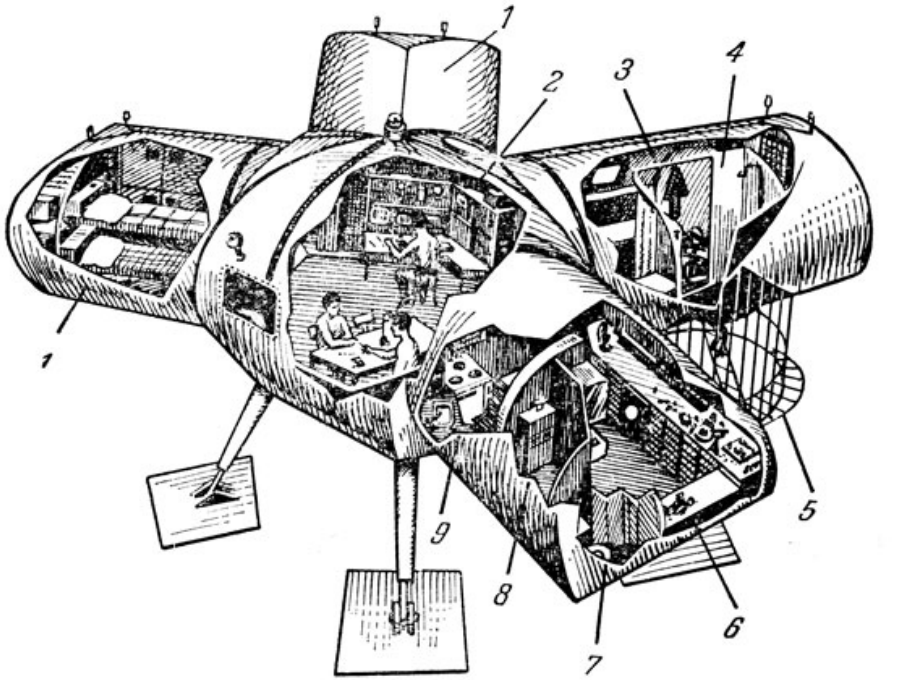


Рис. 2. 'Морская звезда'. 1 — спальни; 2 — салон; 3 — кабина для переодевания; 4 — душ; 5 — ограждение от акул; 6 — лаборатория; 7 — санузел; 8 — фотолаборатория; 9 — кухня

Главным сооружением "Преконтинента-II" была "Морская звезда" — комфортабельный пятикомнатный стальной дом (такое название он получил благодаря своей форме в виде пяти лучей). Его установили на глубине 11 м. В одной из комнат "Морской звезды" размещалась научная лаборатория, другая была отведена под спальню, в третьей находилось все хозяйство, четвертая была просторным салоном с большим иллюминатором для научных наблюдений (здесь же стоял телевизор с тремя экранами: для связи с другим подводным домиком, расположенным ниже "Морской звезды", с кораблем-базой и для обозрения подводного мира), пятая комната служила прихожей (рис. 2). В этом своеобразном жилище капитана Немо XX века имелось абсолютно все необходимое для нормальной жизни. Подача воздуха, электроэнергии, пресной воды, продовольствия производилась, как и в первой экспедиции, с базового корабля. Установка для кондиционирования воздуха обеспечивала благоприятные условия для подводной акклиматизации гидронавтов. Попутно

заметим, что жители "Морской звезды" захватили с собой с суши на глубину даже любимых животных. В частности, у известного уже по первой экспедиции гидронавта Весли жил в подводном доме попугай по имени Клод, тезка хозяина. Попугай нес в "Морской звезде" ту же службу, что и канарейки в старину в шахтах, — службу газоанализатора. Он мог раньше всех обнаружить нехватку кислорода в воздухе. Но живому газоанализатору так и не удалось ни разу выполнить своих функций — не было к этому причин. В основном Клод-пернатый ругал гостей подводного дома, которые "приходили" познакомиться и поболтать с попугаем, сменившим привычный сухопутный образ жизни на подводный.

Рис. 3. 'Нижняя кабина' в разрезе. Наверху — главное

помещение шириной около 2 м. Телекамера соединена с монитором в 'Морской звезде'. Приборы показывают содержание кислорода и углекислого газа в воздухе; давление — 3,5 атм. Возле умывальниканачинается трап, ведущий в душевую, где висят акваланги и гидрокостюмы. Открытый люк ведет в затопленный отсек

Второй домик — "Нижнюю кабину" разместили на глубине 27 м. Так как давление на такой глубине достигает 2,5 атм, "Нижней кабине" придали удлиненную цилиндрическую форму (отсюда ее второе название "Ракета"). В "Ракете", рассчитанной на двух акванавтов, было два отсека, расположенных один над другим (рис. 3). В нижнем находились инструменты и снаряжение (здесь же открывался люк в воду); в верхнем — две койки, кухонька, аппаратура связи и телекамера, соединенная с монитором в "Морской звезде". Жители "Ракеты" должны были дышать регенерируемой смесью воздуха и гелия. "Нам нужно было основательно проверить, — пишет Кусто, — точно ли гелиевые станции позволят аквалангистам все глубже обосновываться на материковой отмели. Главное — установить, что голова не затуманится от глубинного опьянения". Когда обитатели "Морской звезды" акклиматизировались, двое из них перешли в "Нижнюю кабину", где прожили семь дней.

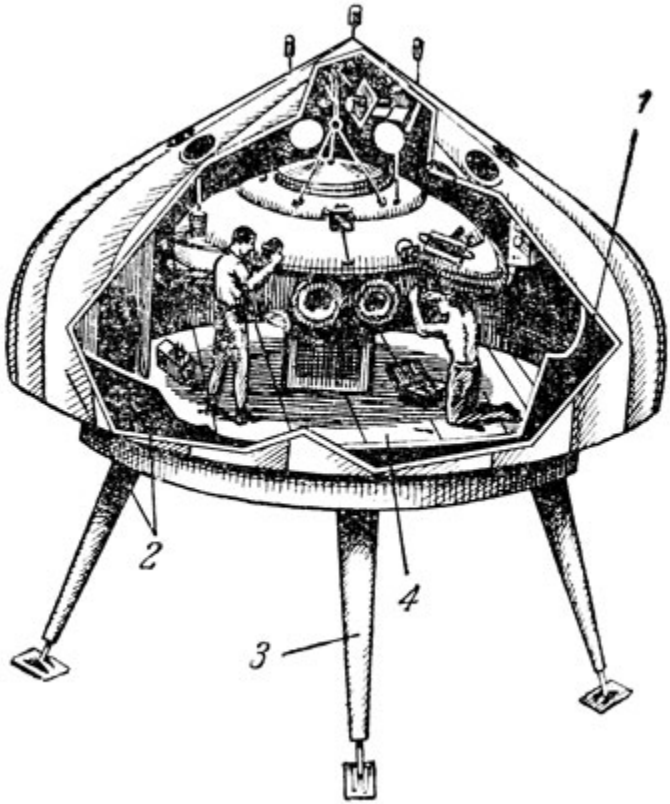


Рис. 4. Ангар. 1 — в пространстве между обшивками укладывается балласт; 2 — двойная металлическая обшивка; 3 — раздвижные телескопические опоры; 4 — разборный фанерный пол

На дне кораллового рифа было возведено еще одно необычное сооружение — грибовидный подводный гараж (ангар) (рис. 4). Он служил пристанищем для знаменитого "ныряющего блюдца" Кусто — "Денизы", миниатюрной крабовиднои подводной лодки, рассчитанной на двух человек (рис. 5). Снизу ангар был открыт в воду, а купол заполнен воздухом. Когда "ныряющее блюдце" возвращалось в гараж, электрическая лебедка извлекала его из воды. Команда выходила из лодки, проводила технический осмотр "блюдца" и зарядку аккумуляторов. Чтобы уравновесить напор воды, в ангар (как и в "Морскую звезду") с корабля-базы "Росальдо" подавался по шлангу сжатый воздух под давлением, в два с лишним раза превышающим атмосферное.

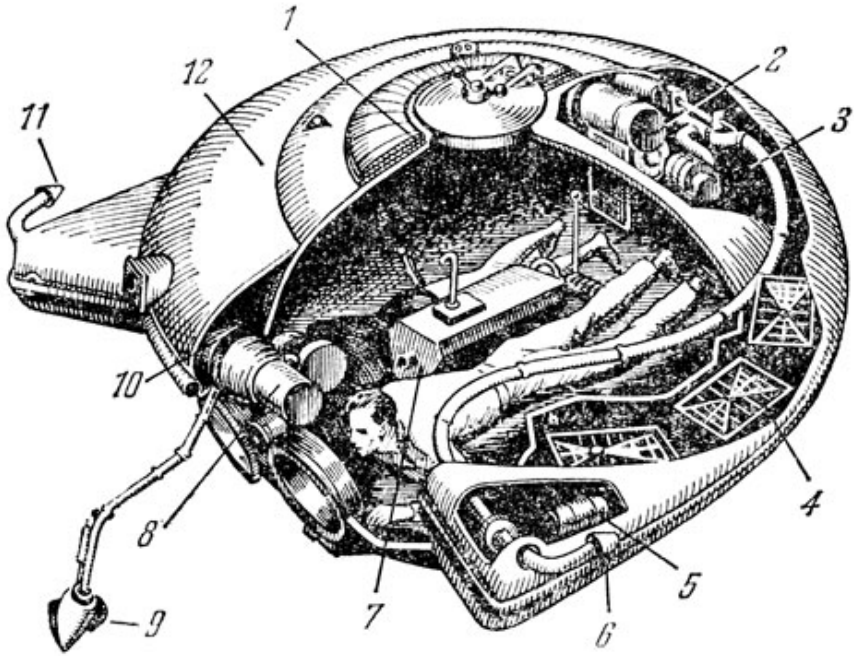


Рис. 5. 'Ныряющее блюдце'. 1 — панель управления; 2 — бак для ртутного балласта; 3 — насос; 4 — аккумуляторы; 5 — гидравлический поршень, поворачивающий сопло для маневрирования; 6 — сопло водомета; 7 — бак для водного балласта; 8 — бак для ртутного балласта; 9 — клешня; 10 — внутренний стальной корпус; 11 — сопло водомета; 12 — обтекатель из стекловолокна

"Дениза" была необычайно мобильной и маневренной. На ней был установлен специальный водяной реактивный двигатель. Сопла, через которые вырывались водяные струи, могли разворачиваться в любом направлении, и лодка легко перемещалась вверх, вниз, вправо, влево, наклонялась, зависала на одном месте. На "ныряющем блюдце", передвигавшемся со скоростью до 1,5 км/час, акванавты могли погружаться на глубину до 300 м. "Дениза" имела специальное приспособление для "захвата" обитателей моря прямо с его дна. Кроме приспособлений, гарантировавших безопасность плавания, на "ныряющем блюдце" были установлены различная исследовательская аппаратура, фото- и кинокамеры, звукозаписывающие устройства. Во внешнем облике "Денизы" было много "марсианского": обзорные овальные иллюминаторы в "голове" лодки были похожи на огромные глаза чудовища, механические манипуляторы — на длинные клешни. Словом, при

взгляде на "Денизу" создавалось впечатление, что это "внеземное" творение только что сошло со страниц фантастического романа. Впрочем, сам проект подводного поселения "Преконтинент-II" еще вчера тоже казался фантастическим.

То, что подводная лодка "Дениза" впервые базировалась на дне моря, Кусто считал одним из главных достижений "Преконтинента-II". И действительно, "ныряющее блюдце" на Шааб-Руми могло спокойно в любое время выходить из своего грибовидного гаража и возвращаться в него, лодке не угрожали ни ветер, ни волны, как это частенько бывает на морской поверхности. На дне моря "Денизе" не страшна была любая непогода.

Подводное поселение "Преконтинент-II", как и средиземноморская экспедиция, имело отлично налаженную двухстороннюю связь как между домиками, так и с теми, кто находился наверху, на "Калипсо" и на другом вспомогательном судне — "Росальдо". За всеми отважными гидронавтами было установлено строгое, чрезвычайно тщательное медицинское наблюдение. В какой бы точке подводных квартир они ни находились, за ними всегда неотступно следило недремлющее око телекамеры, и те, кто дежурил на поверхности, в первое же мгновение могли прийти к ним на помощь.

По сравнению с программой "Преконтинента-I" программа научных исследований второй экспедиции была значительно шире. На сей раз обитатели "подводной деревни" ежедневно находились в открытом море не 5, а 7 час и погружались на большую глубину — до 50 м. За месяц работы участники экспедиции "Преконтинент-II" провели множество подводных наблюдений, собрали обширнейший, весьма ценный научный материал, построили несколько садков для рыбы, отловили для лабораторных исследований и для монакского аквариума ряд интересных живых экземпляров, обитающих в Красном море, засняли фильм "В мире без солнца" — захватывающий кинорассказ о подводной эпопее, похожий на фантастику.

Опыты, проведенные за время экспедиции "Преконтинент-II", еще раз показали, что человек способен прекрасно приспосабливаться к необычным условиям, особенно когда с ними связано столько неизведанного, красивого, волнующего. "Преконтинент-I", "Преконтинент-II", — пишет Кусто, — убедили нашу группу, что еще при нашей жизни станут обычными промышленные и научные станции на дне моря. Они найдут сотни практических применений. Но для нас не это было главной наградой за труд на рифе Шааб-Руми, а захватывающее сознание того, что море стало нашим домом".

Через год смелый эксперимент французских ученых повторила группа исследователей США, руководимая капитаном Джорджем Бондом. К его проведению американцы готовились довольно долго и весьма тщательно. Джордж Бонд, бывший хирург и окружной врач в штате Северная Каролина, в течение нескольких лет работал в специальной группе по подводным исследованиям при управлении ВМС, где впервые начали применять гелий для дыхания водолаза и, кроме того, пользовались другими усовершенствованными методами работы на больших глубинах. При помощи специальной барокамеры Бонд и его коллеги исследовали вопросы дыхания животных, а затем и людей смесями различных газов. В результате многочисленных экспериментов они установили, что примерно в течение суток человека можно почти целиком перевести на дыхание смесью гелия и кислорода. Исследования показали также, что у "насыщенного" таким образом водолаза длительность декомпрессии практически не зависит от срока его пребывания на данной глубине. Итак, подтвердилась гипотеза, которую Бонд выдвинул еще в 1957 г.; согласно этой гипотезе, подводники, будучи полностью "насыщенными" под давлением гелиево-кислородной смесью, могут работать и жить в подводной камере даже в течение нескольких недель. Основываясь на выводах Бонда, один из его коллег, доктор Роберт Уоркман, разработал метод так называемой "линейной декомпрессии", при которой понижение давления можно производить безостановочно (в отличие от ранее применявшегося ступенчатого), причем непосредственно на борту плавучей базы.

В 1962 г. несколько добровольцев — энтузиастов покорения морских глубин — провели 2 недели в специально изготовленной камере при давлении в 6 атм, что соответствовало глубине 60 м. Как и предполагал Бонд, опыт прошел успешно. Проводившееся во время эксперимента медицинское обследование показало, что на здоровье людей дыхание гелиево-кислородной смесью не отражается.

И вот в августе 1964 г. на вершине подводного вулкана, невдалеке от Бермудских островов, на глубине 60 м, бросила якорь морская лаборатория "Силэб-I". Это был окрашенный в ярко-желтый цвет[11] стальной цилиндр (капсула) длиной 12 м и диаметром 3 м. В капсуле, рассчитанной на проживание в ней четырех человек в течение месяца, к услугам гидронавтов всегда были душ, холодная и горячая пресная вода. Имелся телефон, телевизор и маленькая библиотека. В небольшом светлом камбузе стояла электрическая печка. Газовая смесь, которой дышали подводные "диогены", хранилась в стальных баллонах. Для

выхода гидронавтов из дома в открытое море в донной части капсулы был сделан люк, всегда остававшийся открытым. Забортная вода удерживалась воздухом, подававшимся в капсулу под давлением со вспомогательного судна.

Над лабораторией постоянно стояло судно, которое в случае необходимости могло немедленно осуществить спасательную операцию. В случае беды исследователи могли "добежать" (разумеется, не очень быстро: как-никак глубина была довольно значительна) до телефона, помещенного на "улице", и связаться с судном.

Исследователи быстро освоились с необычной обстановкой и чувствовали себя в подводной лаборатории как "дома". Они обзавелись чрезвычайно общительными друзьями. Особенно часто их навещали Уолли и Джордж — две крупные тропические рыбы. Они обнюхивали странный металлический дом, вежливо принимал угощение от хозяев дома. Уолли, например, полюбились сардины в томатном соусе. Сами акванавты предпочитали мексиканскую кухню: она богата изделиями из теста, которое не боится повышенного давления. По строго установленному распорядку дня гидронавты после завтрака отправлялись на работу: исследовали морское дно, брали пробы, проводили всевозможные физические и химические эксперименты, наблюдали за жизнью различных морских животных, изучали их повадки, производили фото- и киносъемки и, само собой разумеется, время от времени занимались подводной охотой с присущим подавляющему большинству аквалангистов азартом и любовью к этому увлекательному виду спорта.

Так как давление внутри морской лаборатории равнялось внешнему, ее обитатели могли выполнять различную исследовательскую работу в открытом море не 5 и не 7 час, а хоть круглые сутки. Никаких отклонений от нормального самочувствия ни во время длительных путешествий, ни по возвращении в подводный дом у гидронавтов не отмечалось.

Экспедиция Бонда длилась 11 дней[12]. Гидронавты вернулись на поверхность живыми и невредимыми. Научная и практическая результативность ее была огромна: на такой глубине и так долго еще не жил и не работал в море ни один человек.

Почти в одно время с Бондом совершенно разительных результатов в покорении морских глубин достиг другой, упоминавшийся нами выше, американский ученый, изобретатель, пионер покорения голубого континента Эдвин Линк, занимающийся уже около 20 лет решением проблемы "Человек и

море". Сначала Линк испытал двух аквалангистов на "сухое" погружение в своем цилиндре. При этом была применена дыхательная смесь, содержащая 96,2% гелия и 3,8% кислорода (такой состав газовой смеси исключает возможность азотного опьянения). Оба гидронавта пробыли 24 час на "глубине" 90 м под давлением 10 атм. Далее они были подвергнуты еще более тяжелому испытанию: прожили в цилиндре Линка 24 час под давлением, соответствующим 120 ли

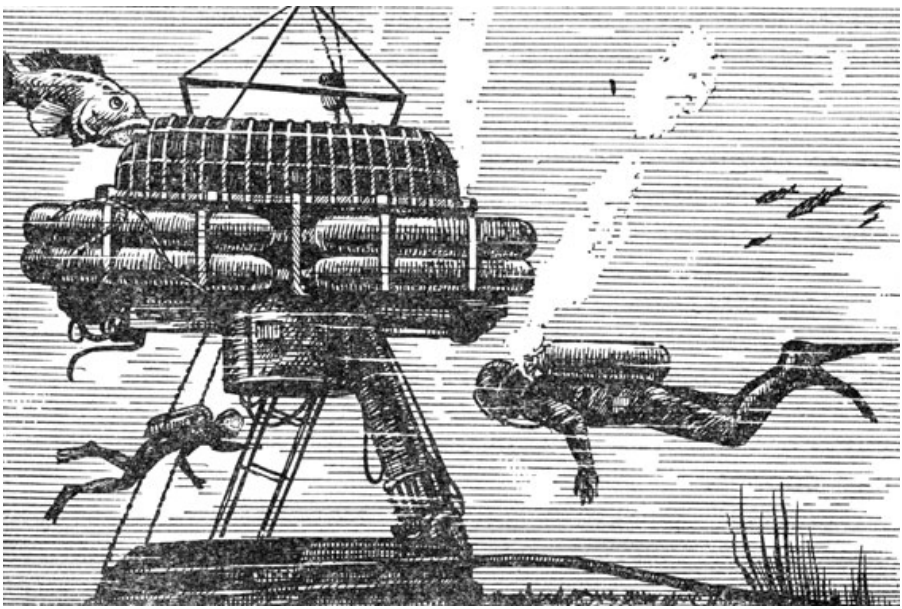


Рис. 6. Подводная 'палатка' Эдвина Линка, установленная на глубине 130 м. Здесь Линдберг и Стенуи провели 49 час

Результаты этой серии опытов позволили наконец Линку принять решение о спуске двух гидронавтов — Джона Линдберга, сына знаменитого американского летчика, осуществившего первый трансатлантический перелет, и Роберта Стенуи — на глубину 130 м на двое суток. Осуществлению этого проекта предшествовала генеральная репетиция, проведенная в открытом океане неподалеку от Богамских островов на глубине 21 м. Репетиция имела целью тщательно проверить весь комплекс совершенно нового оборудования будущего подводного поселения, не похожего ни на "подводные гостиницы" Кусто, ни на "подводную квартиру" Бонда. Проверка прошла успешно, все оказалось в порядке. Можно было начинать "большой эксперимент".

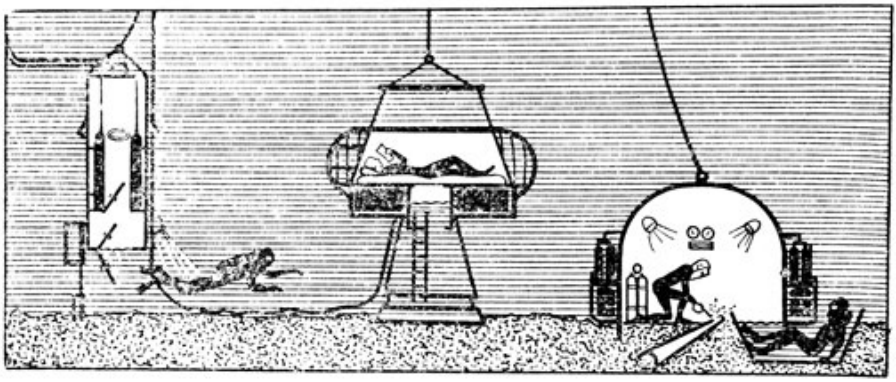


Рис. 7. Общий вид поселения Эдвина Линка на дне океана. Слева — лифт, в котором гидронавты спустились в глубь океана, в центре — глубоководная 'палатка', справа — так называемый ',ёж' для проведения 'сухих' работ

Дом Линка, изготовленный из резины и по форме напоминавший палатку, висящую под водой (длина 2 м, высота 1,2 м), опустили на 130 м, закрепили на дне и поместили в него 4 т свинцового балласта (рис. 6). В доме были предусмотрены все удобства: кровать для отдыха гидронавтов, электрическое освещение и отопление, сложная система подачи и регенерации газовой смеси, два указателя концентрации углекислого газа, телефон и телекамера. Рядом с домом установили шалаш, так называемый "ёж", для работы под водой (рис. 7).

30 июня 1964 г. оба гидронавта заняли места в спущенном с корабля-базы цилиндре Линка, который одновременно выполнял функции глубоководного лифта[13], декомпрессионной камеры и, кроме того, мог служить самостоятельной подводной станцией для двух наблюдателей (вот когда снова уместно вспомнить о выдающемся "изобретении" водяного паука). В 9 час 45 мин модернизированный водолазный колокол начал погружаться в морские глубины. Через 3 час лифт коснулся дна. На глубине 130 м давление достигло 14 атм. Выйдя из лифта через нижний люк, оба гидронавта вплавь добрались до своей глубоководной обители и поселились в ней.

Несмотря на длительную подготовку к жизни и работе на большой глубине, тщательный подбор оборудования подводного поселения, всестороннюю проверку его эксплуатационной надежности, гидронавтам все же пришлось во время проведения эксперимента претерпеть ряд трудностей, коварных неожиданностей и пережить немало неприятных минут. Прежде всего — колоссальное давление, в 14 раз превышающее давление на поверхности. Неожиданно оба гидронавта ощутили давление

на уши, как при выстреле из орудия. Через 1 $^1/_2$ час после "новоселья" в подводном доме перестал работать вентилятор аппарата для очистки воздуха, и концентрация углекислого газа начала приближаться к предельно допустимой. Дыхание стало затрудненным. Пришлось в срочном порядке спустить на дно имевшийся в запасе новый аппарат для очистки воздуха. Немало неприятностей доставил и гелий, избавлявший гидронавтов от глубинного наркоза. Заменяя воздух при глубоководных погружениях, он искажает речь. Голосовые связки при дыхании смесью на гелиевой основе вибрируют совсем иначе, нежели в обычных условиях: голос становится приглушенным, речь — еле внятной. В связи с этим Линдберг и Стенуи вынуждены были общаться с участниками экспедиции, находившимися на борту корабля-базы, при помощи записок, держа их перед телекамерой. И еще одно свойство гелия доставило неприятность гидронавтам. Дело в том, что гелий обладает очень большой теплопроводностью. Гидронавт, вдыхающий гелиевую смесь, мерзнет, так как он значительно быстрее теряет свои драгоценные калории. И это сразу же почувствовали на себе обитатели дома Линка. Даже при 30° Ц им было холодно, а при 22° Ц у них буквально зуб на зуб не попадал. Чтобы спастись от переохлаждения, им пришлось надеть специальные плавательные костюмы, сделанные из слоя резины с сообщающимися ячейками, которые перед выходом в воду надуваются воздухом из миниатюрных баллонов.

И все же, несмотря на многочисленные трудности, гидронавты успешно перенесли все испытания. Они пробыли двое суток на глубине 130 м и убедительно доказали, что в этих необычных условиях человек может жить и плодотворно работать.

Не успели еще исчезнуть со страниц газет и журналов отчеты о результатах последних глубоководных экспериментов Линка, как корреспондент агентства Ассошиэйтед Пресс опубликовал следующее сообщение.

> "Военно-морские силы США намерены провести испытание сверкающего белого аппарата, который предназначен для глубоководных погружений. Этот стальной цилиндр, получивший название "Силэб-II" ("Морская лаборатория № 2"), послужит подводным жилищем для 20 водолазов — включая астронавта Скотта Карпентера, — которым предстоит жить и работать на глубине 60 м в течение 30 дней".

Эксперименты в глубоководной морской лаборатории "Силэб-II" начались 22 августа 1965 г. В этот день вечером подводная

станция была установлена на дне Тихого океана неподалеку от Ла-Джолла (Калифорния), в 960 м от берега, на глубине 62,5 м. Определяя место для погружения "Силэб-II", научный руководитель эксперимента капитан Бонд предусмотрительно выбрал "...самую черную, самую холодную, самую страшную..." воду, которую он только мог найти, — на краю подводного каньона в районе Ла-Джолла. Он "...задался целью доказать, что человек в течение длительного времени может выполнять полезную работу в условиях, в большей степени соответствующих реальной обстановке на больших глубинах, чем те, в которых по вполне понятным причинам проводили опыты его предшественники, — в теплых и прозрачных водах".

Эксперименты, проведенные обитателями "Сиэб-II", являлись очередным этапом обширной программы глубоководных исследований "Человек и море", осуществляемой ВМС США с участием Национального управления по аэронавтике и исследованию космического пространства. Толчком к составлению этой программы, рассчитанной на 5 лет, послужила катастрофа с атомной подводной лодкой "Трешер" в 1953 г. Когда в течение длительного времени потерпевшую аварию лодку не удавалось даже обнаружить, военные чрезвычайно остро почувствовали, сколь ограничены их технические возможности в этом отношении. Программа "Человек и море" предусматривает следующие мероприятия.

1. Проектирование и постройка специальных средств для подъема затонувших судов, самолетов и ракет со дна океана.

2. Создание миниатюрного атомного реактора в качестве двигателя для легкой подводной лодки, работающей на больших глубинах.

3. Создание поисковой подводной лодки с запасом глубины до 6000 м, т. е. намного превышающей "критическую глубоководность" существующих военных подводных лодок.

4. Создание глубоководных спасательных судов, а также специальных камер, которые крепятся "гуськом" к обычной подводной лодке, а в случае аварии последней отделяются от нее и с помощью автономного двигателя производят спасательные работы.

В эту программу входит также создание средств и приборов, с помощью которых можно определять направление подводных течений, температуру воды и топографию морского дна.

Новая глубоководная станция "Силзб-II" представляла собой огромный металлический цилиндр с шарообразно закругленными торцами. Длина подводной лаборатории — 17,3 м, диаметр — 3,6 м, вес — 200 т. В ее килевой части располагались специальные

устройства, обеспечивающие устойчивость "Силэб-II" на грунте. Над палубой возвышалась надстройка, напоминавшая рубку, что делало "Силзб-II" очень схожей с обычной подводной лодкой (рис. 8). В корпус "Силзб-II" были вмонтированы 11 смотровых иллюминаторов, сквозь которые обитатели станции в любое время дня и ночи могли любоваться сказочным миром царства Посейдона, наблюдать за рыбами всевозможных форм и расцветок.

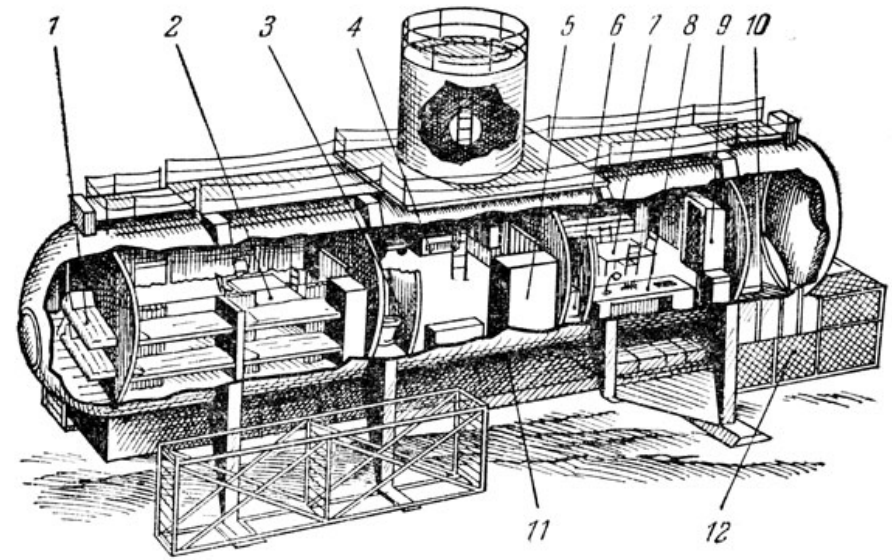


Рис. 8. Подводная станция 'Силэб-II' в разрезе. 1 — запасные койки; 2 — спальное помещение; 3 — туалет (напротив умывальной); 4 — камбуз; 5 — центральный энергоблок; 6 — центральный газовый блок; 7, 8 — комната отдыха и лабораторное помещение; 9 — выход в шлюзовую камеру; 10 — люк, здесь же водолазные приспособления; 11 — килевой отсек, где, наряду с балластом, хранятся баллоны с гелием, кислородом и сжатым воздухом; 12 — решетка для защиты водолазов от акул

Акванавты спускались в "Силэб-II" в обычных водолазных костюмах открытого типа (в ходе эксперимента прошли также испытания глубоководные костюмы с регулируемым обогревом) в специальном глубоководном лифте (в процессе эксперимента на нем дополнительно опускали также различное оборудование и продукты). Энергия, пресная вода, воздух поступали с обслуживающей плавучей базы по кабелям и шлангам. Искусственный воздух станции состоял из газовой смеси, содержащей 80% гелия, 16% азота и 4% кислорода, под давлением 7 атм. Поскольку гелий — хороший проводник тепла,

акванавты, находящиеся в искусственной атмосфере, $^4/_5$ которой составлял этот газ, должны были столкнуться с существенным снижением температуры во внутренних помещениях "Силэб-II". Поэтому в подводной лаборатории поддерживалась с помощью специального электрического калорифера температура комфорта. По возвращении с подводных работ гидронавты согревались под горячим душем. На аварийный случай в помещении "Силэб-II" была установлена небольшая нагревательная установка, действующая на ядерном горючем.

Большое внимание организаторы экспедиции "Силэб-II" уделили созданию надежной связи между гидронавтами и надводными наблюдателями. Вследствие трудностей управления голосовыми связками, вызываемых сжатой до 7 атм гелиевой смесью, во время телефонных сеансов включался корректор частотных искажений речи. Подводная станция была снабжена еще одним весьма хитроумным устройством, помогавшим в любое время держать хорошую связь с находящимися наверху участниками экспедиции, а именно электрическим пишущим автоматом типа "телетайп". Эта оригинальная подводная "электроручка" использовалась в тех случаях, когда собеседники не могли понять друг друга, несмотря на электронный корректор речи. Автографы передавались по проводам и повторялись надводной частью аппарата, где находился и пост управления "электроручки". Неплохим средством связи между надводной базой и гидронавтами, находящимися на борту "Силэб-II", оказался аппарат AN/BOC, работающий на частоте 8,0875 кгц. Эта переговорная система обеспечивала почти такую же слышимость и чистоту звука, как и обычный телефон.

"Силэб-II" была оснащена также особой подводной телеметрической станцией, спроектированной и построенной Скриппсовским институтом океанографии. Это сложное электронное устройство находилось на дне океана в 30,5 м от основной лаборатории и служило "центральным коммутатором" для связи и сбора данных. Лаборатория обеспечивала работу четырех телевизионных каналов; при помощи телепередатчиков, установленных под водой, береговые наблюдатели постоянно могли видеть все, что происходило вокруг морской лаборатории и непосредственно внутри нее. Помимо того, 20 каналов отводилось для звуковой записи и 130 — для сбора научной информации. Эта лаборатория была наделена и другой оригинальной способностью — способностью производить саморемонт. Для этого она была оснащена механической "рукой", управляемой с берега. Если какой-либо элемент лаборатории выходил из строя, включалась механическая "рука". Она удаляла

дефектный элемент и взамен него вставляла запасной.

Участники экспедиции были разбиты на три группы. Каждая группа из 10 человек жила и работала на глубине 62,5 м в течение 15 дней. Первую и вторую группы возглавлял коммодор военно-морских сил США, космонавт Скотт Карпентер "...потому, что он прошел интенсивную подготовку для действия во враждебной космической среде, а также потому, что у него имелся большой опыт погружений с аквалангом". В общей сложности он провел в глубинах океана 29 дней 10 часов 50 минут.

Эксперимент на "Силэб-II" прошел весьма успешно. Обитаемая научная станция просуществовала на дне океана 45 дней. В экспедиции участвовало 28 различных специалистов. Как и во всех предыдущих экспериментах, исследователи не замкнулись в стенах подводной станции, а регулярно выходили на выполнение различных работ, заплывая значительно глубже расположения "Силэб-II". Несмотря на трудности ориентировки в кромешной тьме, на укусы ядовитых рыб (два таких укуса пришлись на долю Карпентера), на очень низкую температуру воды (10° Ц) и сырость внутри камеры, акванавты проделали, по словам Бонда, "фантастически огромную работу". Гидробиологи произвели "перепись" животных, обитающих в районе расположения станции "Силэб-II", изучили повадки многих рыб, их реакции на различные сигналы и раздражители, исследовали явления биолюминесценции в морской среде, собрали множество проб планктона. Геологи изучили рельеф и микрорельеф океанского дна, провели отбор проб донных осадков, топографическую съемку подводных "окрестностей". Используемый в исследованиях окрашенный песок помог им наблюдать за размывом донных отложений на затвердевших слоях рудных залежей, проследить перенос этих отложений. Кроме того, были проведены весьма важные и перспективные в промышленном отношении работы, связанные с эксплуатацией подводных рудных и особенно нефтегазовых месторождений. Интересные научные данные были получены участниками экспедиции с помощью подводной "станции погоды", вошедшей в комплекс оборудования, установленного на борту "Силэб-II"; они исследовали скорость придонных течений около станции и на высоте 9 м от поверхности дна, температурный режим на тех же горизонтах, а также колебания давления, вызванные подводными и поверхностными волнами, и т. д.

Подводная лаборатория "Силэб-II" закончила свою работу 10 октября 1965 г. Последняя группа из 10 акванавтов благополучно поднялась на поверхность океана. Подъем проводился в

специальной кабине и продолжался 9 мин (продолжительность декомпрессии составляла бы 33 час). Физиологические исследования и специальные психотехнические тесты показали, что подводные жители не претерпели опасных отклонений от норм. Прожив по 15 дней на глубине 62,5 м при давлении, в 6,5 раза превышающем атмосферное, большинство акванавтов после подъема на поверхность сообщило, что, по их мнению, они смогли бы жить и эффективно работать под водой на протяжении неопределенно длительного периода времени. Выступая на пресс-конференции, Бонд сказал: "Никто из участников эксперимента с "Силэб-II" ни разу серьезно не болел... Мы проделали свою работу, несмотря на то что... в высоких сферах выражались сомнения в ее ценности для общества или военно-морских сил. Но мы подтвердили, что можно... помещать людей в чужую среду и заставить их там работать. Несколько лет назад это серьезно оспаривалось. Ценность этого эксперимента и возможности, которые он открывает, неограниченны".

Всеобщее признание успехов, достигнутых коллективом ученых "Силэб-II", повысило интерес не только военных, но и промышленных и финансовых организаций США к глубоководным экспериментам Бонда. Обещанная солидная финансовая поддержка вызвала, по сообщениям американской печати, "...огромный энтузиазм в среде исследователей океанских глубин". Принято решение внести коррективы в план "Человек и море" — сократить против ранее намеченного срока время подготовки очередной подводной экспедиции "Силэб-II" на шесть месяцев. Погружение новой подводной станции намечено осуществить в районе острова Сан-Клемент, вблизи Сан-Диего (Калифорния), недалеко от того места, где находилась "Силэб-II". Глубина погружения "Силэб-III" должна достигать 120 — 150 м. Экипаж подводной станции (он будет обновляться каждые 15 дней) — 6 — 8 человек, продолжительность эксперимента 30 — 45 дней. Проектом предусмотрено сделать "Силэб-III" более комфортабельной, нежели "Силэб-II", снабдить новую подводную лабораторию более надежной аппаратурой, отвечающей условиям работы гидронавтов в гелиевой атмосфере, сжатой до 15 атм. Решено коренным образом усовершенствовать аппаратуру для очистки газовой смеси, отказаться от ручного управления и полностью автоматизировать установку, контролирующую состав дыхательной смеси, ее температуру и влажность, снабдить акванавтов удобными и надежными в эксплуатации гидроэлектронными переговорными устройствами для связи между собой при плавании под водой, а также для двухсторонней связи с берегом и обеспечить гидронавтов новыми ручными

глубиномерами, действующими до глубины 240 м, и т. д. Помимо основной лаборатории "Силэб-III", руководители проекта "Человек и море" задумали разместить в океане на глубине 180 м еще одну станцию для отдыха спасателей-акванавтов и водолазов после тяжелых часов работы в глубинах. "Подводный дом отдыха" — это маленький складной коттедж из прорезиненной ткани, примерно такой, в котором прожили два дня на 130-метровой глубине Стенуи и Линдберг.

Предполагается, что водолазы сами установят его на дне, куда их доставит четырехместный транспортный батискаф. После высадки из батискафа и сооружения подводного "дома отдыха" гидронавты займутся своим обычным делом.

Любопытная деталь. "Магистр глубин" Жак-Ив Кусто предполагал провести очередную экспедицию "Пре-континент-Ш" в "глубоководный космос" осенью 1964 г. Новое подводное поселение намечалось соорудить на глубине 33 м в Средиземном море. Однако, изучив опыт Эдвина Линка и Джорджа Бонда и желая наверстать упущенное, Кусто принял решение основать свою третью по счету "подводную деревню" на глубине ПО, а не 33 м.

Для новой экспедиции был изготовлен стальной "подводный дом" в виде шара диаметром 5,7 м, покоящегося на 14-метровой платформе с двумя огромными цилиндрическими балластными цистернами по бокам (при заполнении этих цистерн водой станция приобретала отрицательную плавучесть). Шар-лаборатория — сложнейшее инженерное сооружение. Общий вес станции вместе с платформой равнялся 130 т, из них сам шар весил 60 т. Каждый квадратный сантиметр корпуса подводной лаборатории был рассчитан на давление свыше 20 кг, иными словами, подводный дом, наполненный "земной" атмосферой, был способен противостоять натиску слоя воды толщиной более 200 м. Конструкторы разделили шар на два этажа и позаботились не только о том, чтобы океанавты в своем подводном жилище чувствовали себя в полной безопасности, но и работали бы и отдыхали в условиях максимального комфорта: к их услугам были хорошо оборудованные жилая комната, спальня, отлично оснащенная многочисленной аппаратурой лаборатория, система искусственного климата и аэрации, кухня, туалет и душ. Для выхода гидронавтов в открытое море в полу прихожей сделали специальный люк (он должен был распахнуться тогда, когда по достижении проектной глубины погружения внутреннее давление в "подводном доме" сравняется с внешним). Обеспечение станции электроэнергией, телефонной, телевизионной и радиосвязью осуществлялось через кабели извне. Схема подводного дома

"Преконтинент-III" показана на рис. 9.

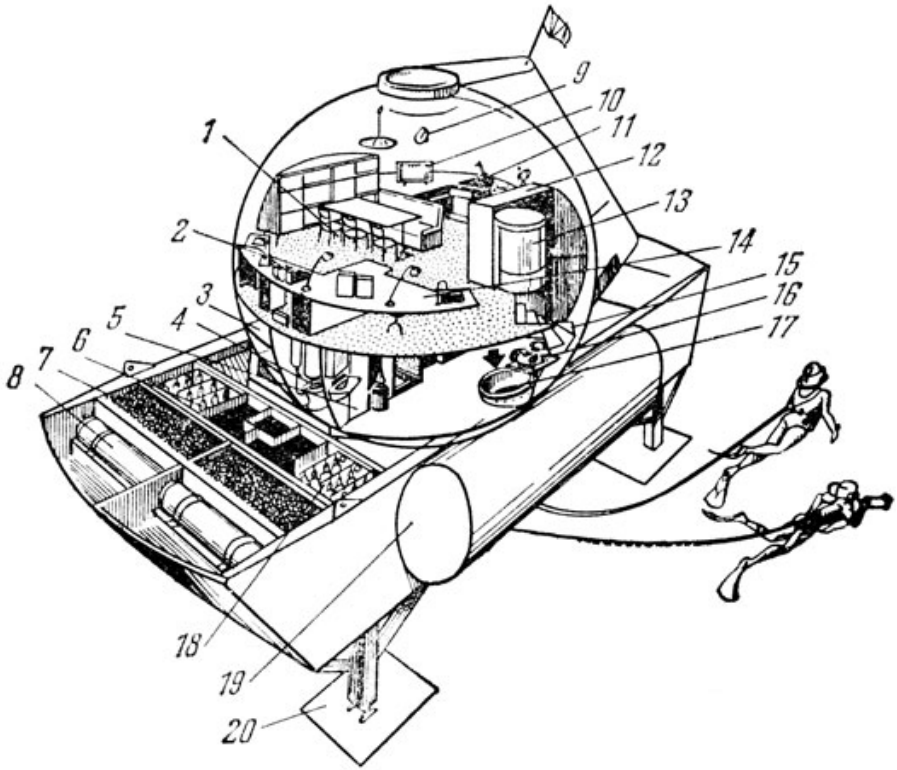


Рис. 9. 'Преконтинент-III'. 1 — гостиная; 2 — измерительные инструменты и аппаратура связи; 3 — спальная комната; 4 — туалет; 5 — умывальник и душ; 6 — сбрасываемый балласт; 7 — постоянный балласт; 8 — баллоны со сжатым воздухом; 9 — телепередатчик; 10 — радиоприемник; 11 — кухня; 12 — звуколокатор; 13 — криогенный генератор; 14 — лаборатория; 15 — трап; 16 — компрессор и декомпрессор; 17 — люк; 18 — запасные баллоны с гелием и кислородом; 19 — балластные цистерны; 20 — регулируемые опоры

В "Преконтиненте-III", как и в предыдущих подводных лабораториях Кусто, было предусмотрено повышенное давление, соответствующее глубине погружения станции, — 11 атм. Для гидронавтов была приготовлена дыхательная смесь гелиокс, хранившаяся в газовых баллонах, установленных на борту подводной лаборатории. Гелиокс состоял из 98% гелия и 2% кислорода. Действие гелиокса было опробовано сначала на овцах, а затем сам Кусто и доктор Ш. Аквардо провели 5 дней в барокамере, наполненной гелиоксом под давлением 13 атм. Специальная аппаратура обеспечивала в "Преконтиненте-III"

строго дозированную подачу искусственного воздуха, состав которого должен был оставаться постоянным в течение всего времени действия глубоководной лаборатории (требования к составу смеси очень строги: отклонение концентрации кислорода хотя бы на 1 % в ту или иную сторону могло оказаться гибельным для гидронавтов). Для удаления углекислого газа, выдыхаемого обитателями подводного дома, был сконструирован криогенератор. Весь воздух станции несколько раз в день прогоняли через этот аппарат. В течение часа криогенератор охлаждал 40 м^3 воздуха примерно до — 160°Ц, чтобы освободить его от конденсирующихся частиц. По мере осаждения в твердом состоянии углекислый газ брикетировали и затем выбрасывали в море.

При большом давлении в атмосфере, состоящей из гелиокса, человеческий организм теряет тепло в 77 раз быстрее, чем в обычных условиях. Кроме того, температура воды на глубине 110 м обычно не превышает 12° Ц.

Поэтому при подготовке экспедиции "Преконтинёнт-III" особое внимание было уделено теплоизолирующим свойствам подводной одежды акванавтов. Новый защитный костюм из особого стекловолокна позволял гидронавтам ежедневно по 2 — 3 час работать в воде при температуре 10 — 12° Ц.

В подготовке и проведении экспедиции "Преконтинент-III" участвовало 150 человек, в том числе подводники, моряки, механики, специалисты по электронике, биологи, физиологи, врачи. Экипаж подводной станции тщательно отбирал и формировал сам Кусто. После долгих испытаний, медицинских осмотров и обсуждений было отобрано и зачислено в "штат" лаборатории 6 человек. Главой экипажа был назначен проработавший в группе Кусто 14 лет Андре Лобан. Научным руководителем экспедиции стал физик Жак Ролле. Сын Жака-Ива Кусто — Филипп Кусто, который по примеру отца уже в 4 года свободно плавал под водой с миниатюрным аквалангом, исполнял обязанности фотографа, кино- и телеоператора. Остальные члены экипажа — инженеры и опытные водолазы — Христиан Бонничи, Раймон Коль и Ив Омер.

Операция "Преконтинент-III" началась 18 сентября 1965 г. В полдень толпа любопытных запрудила набережную Монте-Карло, столицы крошечного княжества Монако. Все взоры были обращены к центру гавани, где, укрепленный на якорях, покачивался большой шар в черно-желтую клетку. К этой махине подошел буксир, и 22 сентября стальной дом с шестеркой акванавтов погрузился в Средиземное море близ южной оконечности мыса Ферра (Французская Ривьера) на глубину 110

м. Штаб-квартирой экспедиции стал маяк на мысе Ферра.

По первоначально разработанной программе гидронавты должны были жить и работать на глубине 110 — 130 м в течение 15 дней. Однако экспедиция несколько затянулась. Океанавты пробыли в глубинах Средиземного моря не 15, а 21 день. Каждый из этих дней был заполнен работой до предела. Обширная программа научных исследований и физиологических тестов не оставляла ни одной свободной минуты. Для проверки состояния умственной деятельности акванавты решали математические задачи. Испытывались рефлексы, ориентировка во времени, сообразительность. И вне "дома", когда люди выходили из своего шара в воду, их ждало много задач: сбор образцов грунта, изучение течений, проведение биологических экспериментов, скажем проверка роста водорослей при искусственном освещении, и т. д. Так как из 3 000 000 франков, потребовавшихся на организацию экспедиции "Преконтинент-III", половину внесло французское "Бюро нефтяных изысканий", программой работ были предусмотрены установка подводной нефтяной вышки и монтаж распределительной колонки на глубине 112 м. Для имитации нефтяного фонтана применялся ток сжатого воздуха. Гелиево-кислородная смесь, которой дышали гидронавты, подавалась шлангами, по шлангам же отработанная дыхательная смесь возвращалась в дом для регенерации. На случай аварии (скажем, отказа компрессора) подводные пловцы носили на спине аквалангн — три баллона с 10-минутным запасом гелиево-кислородной смеси, выдыхаемой в аварийной ситуации непосредственно в воду. Этого запаса должно было хватить на обратный путь в подводный дом. Задачу по установке предоставленного нефтяной компанией оборудования — пятитонной конструкции, которая обычно венчает нефтяную скважину и контролирует добычу нефти, — акванавты успешно выполнили. На высоте оказались гидронавты и выполняя ремонт нефтяного оборудования на большой глубине. Кран весом 182 кг был установлен за 45 мин, тогда как на суше такую операцию выполняют обычно не меньше чем за час. Наиболее сложная часть задания, которую эксперты-нефтяники, наблюдавшие за акванавтами по телевизору, считали неосуществимой в подводных условиях, заключалась в том, чтобы продеть упругую прово-локу через многие ряды затворов. Но 7 час кропотли-вого труда сломили скептицизм "сухопутных" нефтяников — Бонничи одолел затворы! И так день за днем на дне Средиземного моря шла напряженная работа, приведшая к блистательному окончанию еще одного этапа на пути освоения человеком глубин Мирового океана. 13 октября 1965 г., по истечении 25 дней с

начала эксперимента "Прекоитинент-III" акванавтам была дана команда: "Приготовиться к всплытию!" Но шестерка отважных морежителей увидела Солнце только через иллюминатор, им еще нельзя было выходить на "волю". На следующий день буксир отвел подводный дом-шар в Монако. Началась декомпрессия. Пройдя процедуру декомпрессии, гидронавты 17 октября около 23 час наконец вышли из "заточения" и вновь увидели небо. Они были здоровы. Врачебное обследование подтвердило, что акванавты перенесли высокое давление без каких-либо вредных последствий. Длительное пребывание на глубине 110 — 130 м не повлияло на их физическую и умственную работоспособность. Показательно, что после выхода из подводного дома они отказались от автомобиля и отправились в институт пешком.

Каково же значение проведенного эксперимента? Какие уроки следует извлечь из экспедиции "Преконтинент-III"? На эти вопросы Жак-Ив Кусто дал ответы корреспонденту газеты "Юманите диманш" буквально через несколько часов после того, как гидронавты возвратились на сушу.

> "Во время этого эксперимента мы намеревались, во-первых, проверить средства, обеспечивающие полную безопасность и почти автономное функционирование на большой глубине подводной станции с океанавтами; во-вторых, определить, может ли человек, живущий в условиях искусственной атмосферы на глубине 100 м, заниматься физической и умственной работой.
>
> На оба вопроса мы получили утвердительные ответы. Шесть океанавтов находились все время в условиях полной безопасности. И, наоборот, сам эксперимент не всегда был в безопасности. Я объясню это: шесть человек могли в любой момент без какой-либо помощи извне вернуться на поверхность. На этот случай было все предусмотрено. Иначе было с экспериментом.
>
> Вы знаете, что обеспечение подводного дома электроэнергией, телефонной, телевизионной и радиосвязью осуществлялось через кабели извне. Из-за плохой погоды могла произойти авария, ликвидировать которую было бы невозможно. Если бы это случилось, люди смогли бы подняться, но эксперимент закончился бы, мягко говоря, преждевременно.
>
> Таким образом, опыт с "Преконтинентом-III" подкрепил наше мнение о том, что, начиная с определенной глубины, промышленные работы наталкиваются на технические трудности, решить

которые невозможно средствами с поверхности. Для проникновения человека на такие глубины необходимы подводные дома. Но они должны иметь максимальную независимость, особенно в смысле снабжения энергией. Можно предвидеть различные решения. Например, использование ядерного генератора..."

Далее Кусто сообщил:

"Преконтинент-III" позволил, бесспорно, доказать, что люди, находящиеся в таких условиях (т. е. на глубине 100 — 130 м. — И. Л.), сохраняют все свои способности. Специалисты надводного отряда не обнаружили в их поведении ни малейших изменений. Их умственные и физические способности, рассудок, сноровка остались такими же, как и на земле. Несомненно, работа на большой глубине в течение длительного времени возможна.

Перед завершением эксперимента каждый из океанавтов должен был заполнить вопросник. На вопрос "Хорошо ли вы ладили друг с другом?" большинство ответило утвердительно. Не забывайте при этом, что речь идет о молодых людях. У них быстрее спонтанные реакции, менее обдуманные решения, чем у людей постарше. И потом они переживали "премьеру", которая всегда требует большого нервного напряжения.

Итак, под водой все происходит так же, как на земле".

Наступление на глубины "подводного космоса" ведется сейчас не только американскими и французскими учеными, но и специалистами ряда других стран. Так, недавно на Кубе осуществлен эксперимент "Карибе-I", положивший начало морским подводным исследованиям в Латинской Америке. Он был проведен на основе соглашения о научном сотрудничестве, заключенного между академиями наук Чехословакии и Кубы.

Два опытных водолаза — Иозеф Бергл из Чехословакии и кубинец Михаэль Монтаньес — опустились на глубину 15 м в прибрежной зоне Ринкон-де-Гуанабао и провели 3 дня в установленном на дне специально оборудованном домике. Домик представлял собой стальную конструкцию цилиндрической формы с окошками-иллюминаторами с обеих сторон. Он построен в Чехословакии и предназначен для спуска людей на большую глубину. Проведенные чешскими и кубинскими специалистами исследования позволили собрать много интересных данных о биологической жизни моря, о рыбах, их поведении в присутствии людей. Кроме того, был снят фильм об их пребывании под водой.

Для глубинных исследований ученые пользовались аквалангами и другими приспособлениями для подводной охоты. В качестве базы для проведения исследований было использовано специальное водолазное судно военно-морских революционных сил. Это судно поддерживало постоянную радиотелефонную связь с "подводной квартирой". На борту находился опытный врач-физиолог военно-морских сил Мануэль Кастельянос и инженер Роберто Бальбоа. Во время пребывания в "подводном домике" в ежедневный рацион ученых входили мясо, ветчина, овощи, фруктовые соки, бульон, молоко, печенье. Получали они и горячую пищу, которую им доставляли в специальных кастрюлях, снабженных герметическими крышками.

У нас в СССР на Крымском побережье Черного моря между Балаклавой и Симеизом, в бухте Ласпи, любители подводных исследований — выпускники Донецкого медицинского института — устроили в 1966 г. лагерь, получивший название "Ихтиандр-66". Примерно в 100 м от берега на глубине 11 м они установили на бетонном фундаменте-балласте среди подводных скал стальной домик площадью 3 м^2. 23 августа в нем поселился первый акванавт — врач Александр Хаес, затем к нему присоединился инженер из Москвы Дмитрий Галактионов. Эксперимент имел целью выявить влияние на организм человека и его психику повышенного давления, искусственной атмосферы, длительного одиночества, а затем и совместного пребывания под водой. Акванавты спускались в глубины моря на несколько десятков метров, собирали образцы грунта и растений, изучали морскую фауну. Проверяя свою "подводную" сообразительность, Хаес и Галактионов в стальном домике решали кроссворды и шахматные задачи. Аквалангисты прожили под водой трое суток. Эксперимент закончился успешно. В августе — сентябре 1967 г. он был повторен со значительно более широкой и усложненной программой исследований. В экспедиции принимало участие около 100 человек, из них 45 медицинских работников. Подводный дом, напоминающий винт корабля, окрашенный в шахматную черно-желтую клетку, установили в той же. бухте Ласпи на глубине 12 м у подножья отвесной бурой скалы. В доме было три комнаты: кубрик, спальня акванавтов, хозяйственное помещение. Первыми поселились в подводной лаборатории начальник экспедиции Александр Хаес, инженеры Владимир Песок и Юрий Качуро, крепильщик шахты "Игнатьевская" Юрий Советов и врач из Дзержинска Сергей Гуляр. Семь суток прожила эта пятерка в стальном подводном домике. Все время акванавты чувствовали себя на глубине отлично. Здоровыми и бодрыми вернулись на берег также вторая и третья группы акванавтов

после недельного пребывания под водой. 16 сентября экспедиция "Ихтиандр-67" успешно закончила свою работу, собрав обширный и интересный научный материал. Бухта Ласпи опустела. Впереди "Ихтиандр-68".

Почти одновременно с экспедицией "Ихтиандр-67" на Крымском побережье Черного моря в районе Коктебеля состоялось погружение первого в мире пневматического гидростата, названного "Спрутом". Его создатели и испытатели — московские инженеры и биологи Александр Королев, Вильям Муравьев и Виктор Шабалин. Подводный дом представляет собой полый шар, оболочка которого состоит из трех слоев — резины, пластика и теплоизоляции. Снаружи оболочка заключена в прочную сетку. Снизу шар усечен, здесь крепятся канаты, средства связи, воздушный кабель. Здесь же — вход в "Спрут". В стенках шара сделаны иллюминаторы. Пневматический гидростат в сложенном виде умещается в рюкзаке. Под водой он наполняется воздухом и надежно защищает акванавтов. Создатели воздушного подводного дома провели в нем под водой 14 дней. "Спрут" выдержал пятибалльный шторм.

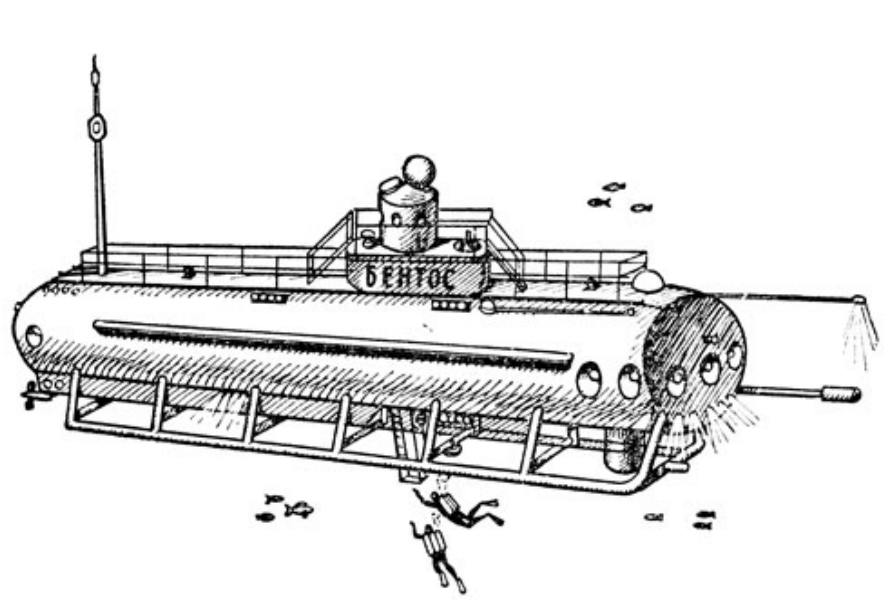


Рис. 10. Общий вид подводной лаборатории 'Бентос-300'

Коллектив конструкторов Ленинградского института "Гипрорыбфлот" спроектировал подводную лабораторию "Бентос-300" ("Бентос" — совокупность организмов, обитающих на морском дне, число "300" говорит о предельной глубине погружения подводной станции). Лаборатория будет самоходной

и полностью автономной (рис. 10). Она сможет самостоятельно погружаться и всплывать, устанавливаться на длительный период на заданной глубине или на дне и передвигаться на небольшие расстояния со скоростью 1,5 узла. Надежность работы основных систем и устройств обеспечивается дублированием главных узлов. Важнейшее достоинство спроектированной подводной лаборатории состоит в том, что она сможет длительное время находиться под водой с 10 исследователями на борту. Для них в "Бентос-300" предусмотрены все удобства: уютные жилые помещения, кают-компания, душ, радио и др. Надежная система очистки воздуха создаст в подводной станции необходимый микроклимат. Главным рабочим местом океанологов будет наблюдательный отсек. Здесь, помимо 26 иллюминаторов, будут находиться телевизионные камеры, фото- и киноаппаратура. В "Бентосе" предусмотрена специальная шлюзовая камера — дверь в море. Через нее гидронавты смогут отправляться в путешествия по дну, в длительные заплывы. В случае появления малейших признаков тревоги ученые смогут покинуть свой корабль в специальной рубке. Она рассчитана на 10 человек и способна всплывать самостоятельно. Объектом исследования лаборатории явится зона континентального шельфа — подводной, части материков. Пройдет немного времени, и "Бентос-300" станет обычным рабочим помещением и учебным классом для советских исследователей морей и океанов.

Непрерывно увеличивающееся число глубоководных научных экспедиций, вовлечение в сферу исследований глубин Мирового океана все большего и большего круга ученых самых различных специальностей, расширяющиеся возможности длительного пребывания людей под водой — все это позволяет сказать, что наш век — не только век космонавтики, но и век акванавтики, науки о проникновении в глубины океана.

А каковы дальнейшие планы ученых по "колонизации" глубин Мирового океана?

Жак-Ив Кусто, например, вскоре по окончании эксперимента "Преконтинент-III" заявил, что он намерен провести следующую экспедицию "Преконтинент-IV" на глубине 150 м ниже уровня моря. 19 февраля 1967 г. в газетах появилось сообщение о том, что "...известный французский исследователь морских глубин Жак-Ив Кусто вышел вчера вечером на океанографическом судне "Калипсо" в новую четырехмесячную экспедицию в районе Аденского залива".

Перед началом экспедиции ученый провел в кают-компании "Калипсо" пресс-конференцию, на которой заявил:

"Я собрал лучшую по составу экспедицию из всех, которые когда-либо организовывал. Она оснащена наиболее совершенным оборудованием для подводных исследований, новейшей аппаратурой для подводной киносъемки. Я испытываю нетерпеливое и острое желание сообщить самой широкой публике правильные знания об океане...

— Акваланги имеют совершенно новую конструкцию. В них встроен радиопередатчик для двухсторонней связи с "Калипсо". Предусмотрено и "средство" для защиты аквалангистов от акул — специальная дубинка с небольшими шипами, которой можно весьма эффективно пройтись по носу хищницы...

— Наш ветеран "Калипсо", который служит нам вот уже 17 лет, сейчас несколько модернизирован. Телевизионные установки позволяют следить за тем, что происходит под водой впереди и сзади судна. На корме приготовлено место для двух новых одноместных подводных лодок. Эти лодки несколько меньше нашего "ныряющего блюдца" "Денизы", но они более маневренны и их глубинный "потолок" в два раза больше — 2000 футов. На "Денизе" было сделано пятьсот погружений, и каждый раз мы открывали что-то новое. А эти лодки позволят освоить еще один слой океана.

На каждой лодке установлены две кинокамеры для цветных киносъемок и очень мощные источники света. Мы подготовили для этих лодок шесть пилотов. Старший из них — Альбер Фалько, известный всем по нашим предыдущим фильмам. Одним из пилотов будет мой сын Филипп — главный оператор фильмов".

На очереди у Кусто новое подводное поселение — "Преконтинент-V". Оно будет сооружено на глубине 200 м. По планам Кусто в пятой подводной "деревне" будут жить и работать в течение двух недель 5 человек. Пользуясь баллонами со сжатой, специально приготовленной газовой дыхательной смесью, гидронавты постараются достичь глубины 300 м. Уже создано оборудование для тренировки гидронавтов, которая подготовит их к жизни на глубине 300 — 350 м. Далее Жак-Ив Кусто надеется осуществить еще более захватывающий опыт: гидронавты собираются атаковать глубины голубого континента, достигающие 425 м! Железная воля человека, его целеустремленность плюс возможности современной техники позволят, как полагает Кусто, осуществить дерзкие замыслы

завоевания морских глубин.

Через год-полтора после "Силэб-III" американцы собираются установить на дне океана, примерно на глубине 180 м, самую крупную из всех своих подводных станций — "Сихэб". Внешне она, судя по проекту, похожа на "Морскую звезду" Кусто, но, в отличие от нее, будет иметь не пять, а шесть лучей, расходящихся от центрального зала. В комфортабельных кубриках американской подводной лаборатории будут жить одновременно 40 акванавтов. "Для этой станции разрабатываются новое специальное оборудование и более совершенная и надежная аппаратура. Предполагается, что ко времени открытия "Сихэб" акванавты наконец получат достаточно удобные и надежные гидроэлектронные телефоны, столь необходимые им для переговоров между собой, двухсторонних переговоров при плавании под водой и для связи с плавучей базой. Для быстроты передвижения в море обитатели "Сихэб" получат аква-такси — несколько маленьких электрических подлодок "мокрого" типа, для которых на дне соорудят специальный "гараж".

В проекте экспедиции "Сихэб" поражает сегодня (на фоне планов Кусто) не столько запроектированная глубина погружения станции, сколько масштабность операции. Однако многоопытный исследователь гидрокосмоса, руководитель американских экспедиций "Силэб-I" и "Силэб-II" Джордж Бонд выразил глубокую уверенность в том, что в скором времени человек сможет основать подводную станцию на глубинах до 700-1000 м.

Предел ли это? Эдвин Линк считает, что границу спуска человека в морские глубины можно отодвинуть еще ниже. И в этом его убедили... белые мыши. В первом опыте две мыши-альбиносы в течение 13 час 40 мин подвергались в барокамере воздействию давления в 42 атм. Обе хорошо перенесли эксперимент, но через неделю одна из них погибла, по-видимому, в результате инфекции. При давлении в 92 атм одна из трех мышей погибла, две же чувствовали себя хорошо и во время опыта и после него. Не наблюдалось никаких нежелательных эффектов, которые можно было бы приписать вдыханию смеси гелия и кислорода. Позднее в одном из лабораторных экспериментов, поставленных Эдвином Линком, мыши были подвергнуты давлению, соответствующему погружению на поистине чудовищную глубину — 1200 м! Во время пребывания в камере эти маленькие животные чувствовали себя отлично, как будто ничего не произошло. Здоровыми и бодрыми выглядели они и после декомпрессии. Из этих экспериментов, разумеется, пока рано делать оптимистические выводы применительно к человеку. Но где предел, сказать пока трудно. Это покажут опыты

ближайшего будущего. Во всяком случае, эксперименты Линка с животными позволяют ученым надеяться, что граница погружения в океан будет значительно сдвинута и для человека.

Теперь, если говорить о проблеме освоения глубин голубого континента, фантастам, в сущности, остался лишь один плацдарм — спуск человека в воду не в скафандре и не с аквалангом, а просто так... "без ничего", подобно Ихтиандру — герою известного романа А. Беляева "Человек-амфибия". Но и этот плацдарм лишь временный, так как фантастика становится наукой, реальностью. Ведь и "Наутилус" — корабль из романа Жюля Верна "20 000 лье под водой" в свое время был "чистой фантастикой". Для того чтобы убедиться в этом, давайте мысленно совершим экскурсию в лабораторию доктора Джона Северингхауса, а еще лучше — в лабораторию известного физиолога профессора Иоганнеса Кильстра. Здесь вы увидите поистине фантастические эксперименты.

Итак, мы в лаборатории профессора Кильстра. На дне огромного аквариума, заполненного водой, стоит собака. На ней надет брезентовый пояс с карманами, которые довольно заметно оттопыриваются: они заполнены свинцовыми пластинками. Пластинки нужны, чтобы животное крепче стояло на ногах и не могло всплыть на поверхность. Опыт только что начался. Слегка виляя хвостом, собака бродит по дну, тычется носом в стеклянные стенки аквариума, и по глазам видно, что чувствует она себя тут явно не в своей тарелке. Однако податься некуда, пасть открыта, бока ходят ходуном. Животное дышит... водой! Через некоторое время собака заметно привыкает к окружающей обстановке. Под носом у нее плавают рыбешки, и она игриво отмахивается от них лапой. Пузырьки воздуха, которые выходят изо рта вместе с выдыхаемым воздухом, уже больше не раздражают ее, как это было в первые часы пребывания под водой, дыхание делается ровнее.

Но вот эксперимент, вернее, первый его этап, приходит к концу. Собаку вытаскивают из аквариума, "вытряхивают" из ее легких воду. А затем, массируя подопытному животному грудную клетку (делать собаке искусственное дыхание сложнее, чем вытащенному из воды человеку), заставляют ее снова дышать воздухом. Очутившись опять в привычной нормальной обстановке, стряхнув с себя воду, животное жадным взглядом следит за человеком в белом халате, в руках которого кусок мяса. Поймав на лету лакомый кусок, собака послушно следует за экспериментатором в другую комнату лаборатории, где ее подвергнут тщательному и всестороннему исследованию.

Что же побудило ученых и, в частности, профессора Кильстра

заняться изучением особенностей легочного дыхания у собак? Желание изыскать эффективный способ возвращения к жизни утопленников и новорожденных, которые нередко появляются на свет бездыханными, и..., как знать, быть может, затаенная надежда на то, что результаты проводимых опытов с "подводными собаками" пригодятся будущим покорителям океанской целины.

Но ведь легкие не жабры? Безусловно, но после того, как было доказано, что плод "дышит" в матке, хотя его легкие наполнены жидкостью, физиологам показалось вполне логичным проверить опытным путем, не могут ли легкие выполнять роль жабр.

Позвольте, опять-таки может сказать читатель, ведь в воде растворенного кислорода содержится в 30 раз меньше, чем в том же объеме воздуха. Следовательно, человек должен пропускать через легкие в 30 раз больше воды, чем воздуха. Кроме того, вязкость воды в 36 раз выше, чем у воздуха. Поэтому ему придется совершать работу, в 36 раз превышающую обычную. А это требует соответственного увеличения расхода кислорода для дыхания.

Эти доводы представляются вполне убедительными. И тем не менее эксперименты показали, что млекопитающие способны дышать водой!

Опыты производились не только с собаками, но и с мышами и крысами. Кильстр и Тиссинг опускали белых мышей в замкнутый резервуар с подсоленной водой, которая по своему составу соответствовала плазме крови. Туда же под давлением в 8 атм нагнетался кислород. Почему именно 8 атм?. При этом давлении количество кислорода, растворенного в воде, соответствует количеству кислорода в воздухе. После погружения белые мыши довольно скоро освоились с непривычной обстановкой и как ни в чем не бывало начали дышать подсоленной водой, обогащенной кислородом! И дышали ею целых 18 час! Более того, они перенесли и давление в 160 атм, что равносильно спуску под воду на глубину 1600 м. И вот, что самое интересное — при таком огромном давлении время нахождения подопытных животных под водой можно увеличить. Это поразительный факт! Он наводит на парадоксальную мысль, что с увеличением глубины погружения создаются благоприятные условия для более длительного пребывания организма под водой. Иными словами, длительность погружения является функцией глубины погружения!

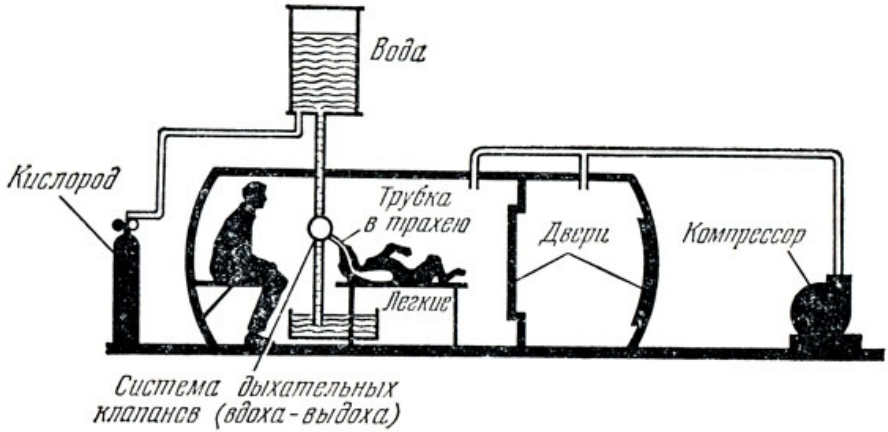


Рис. 11. Схема эксперимента подачи под давлением воды, насыщенной кислородом, прямо в легкие собаки

Эксперименты показали, что лучше всего переносят пребывание под водой собаки. В опытах, поставленных Э. Лампьером в США, вода, насыщенная кислородом, нагнеталась под давлением прямо в легкие собаки (рис. 11). Из 16 подопытных собак 7 выжили, поскольку им сразу же после выхода из воды продули легкие, удалив из них всю воду. Теперь можно считать установленным, что после откачки из легких воды и наполнения их кислородом у собак легочное дыхание восстанавливается без каких бы то ни было вредных последствий. Иное дело — мыши. Выход из воды в обычную для них среду, на воздух, оказался роковым: все они через полчаса погибли. По-видимому, все дело здесь в размерах животного. Из легких собаки проще "вытрясти" воду, нежели из легких мышей или крыс, а это имеет первостепенное значение после окончания эксперимента, когда подопытные животные возвращаются в свою обычную, родную обстановку.

Эксперименты с "подводными собаками" продолжаются. Но достигнутые уже ныне успехи в исследовании особенностей легочного дыхания у животных и в "обучении" собак жизни под водой позволяют сделать некоторые прогнозы относительно практического использования в будущем полученных результатов применительно к человеку.

Хорошо известно, что плазма крови человека по своему минеральному составу близка к морской воде (кстати, это одно из доказательств того, что наши далекие предки вышли из пучины океана). На больших глубинах в океане давление очень велико, и никакой барокамеры там не требуется. Подавая по трубам кислород расположенными на поверхности мощными

автономными установками, можно легко, без всяких технических трудностей насытить воду достаточным количеством этого газа, т. е. создать условия, аналогичные тем, которые были созданы учеными при проведении опытов с собаками в аквариуме. Ну, а дальше легко представить себе следующую картину. На дно моря опускается человек с аквалангом. Запаса дыхательной смеси надолго не хватит, но ныряльщика это нисколько не тревожит. Он знает, что на дне лежит труба, по которой подается живительный газ. Вода вблизи трубы обогащена кислородом. Ныряльщик вынимает изо рта загубник и набирает полную грудь... воды. Выдох — вдох, выдох — вдох. Все в порядке, состояние и настроение отличные. Человек стал полноправным обитателем Мирового океана. Он чувствует себя в воде точно так же, как рыба. Надоест плавать — он выдохнет из легких воду, снова возьмет в рот загубник акваланга и поднимется на поверхность.

Фантастика? Нет, реальность! И, очень может быть, не такого уж далекого будущего.

А нельзя ли человеку, страстно желающему покорить голубой континент, обойтись без трубопроводов, подающих в глубины океана кислород, и не пользоваться аквалангом даже кратковременно — при нырянии и при подъеме на поверхность? Принципиально можно, говорят бионики, но для этого нужно позаимствовать некоторые "приспособления", которыми природа наделила китообразных. Ведь киты сродни человеку. Между строением тела человека и кашалота нет принципиальной разницы: примерно одинаковы у них органы дыхания, нервная система, органы выделения, кровеносная система и т. д.

У человека и кита была общая колыбель — Мировой океан. Дальнейшая судьба их сложилась по-разному. Наши предки покинули "пучины океана", человек навечно стал обитателем суши и очень далеко ушел от своей древней колыбели. Более того, у него даже выработался, так сказать, инстинкт "водобоязни". Кит же на некоторое время сменил "мокрый" образ жизни на "сухой", стал сухопутным животным. Однако на каком-то этапе многовековой эволюции кит вновь, и на сей раз окончательно, возвратился в океан. Но, сменив землю на водную стихию, киты не обрели своей прежней способности дышать водой. Природа не вернула им жабры, а дала взамен новый, более сложный механизм дыхания и сделала китов непревзойденными ныряльщиками. Вероятно, далеко не все знают, что кашалоты, принадлежащие к классу млекопитающих, которые дышат воздухом, способны погружаться в пучины океана на глубину в 1500 — 2000 м, где давление воды составляет 150 — 200 атм. На таких глубинах кашалоты в поисках головоногих моллюсков,

донных рыб и другой пищи нередко плавают по 2 часа и даже дольше. Для двухчасового пребывания под водой киту достаточно лишь одного-единственного вдоха, да и то, как говорят, сделанного "не полной грудью".

Как же природа решила проблему глубоководного ныряния у китообразных? Каким образом кашалот, испытывающий давление в 150 — 200 атм — давление, которое не в состоянии выдержать даже стальная обшивка подводных лодок, не превращается в лепешку? Почему кит не подвержен кессонной болезни? Как удается морскому великану так долго находиться на больших глубинах, не возобновляя запасов воздуха в легких? Чтобы ответить на все эти волосы, давайте посмотрим, что происходит с организмом кашалота, когда он погружается в море.

100, 300, 500, 1000, 1500 м... Погружаясь все глубже и глубже в океанские воды, тело кита испытывает все большее и большее гидростатическое давление. Но увеличивающееся в десятки и даже в сотни раз (по сравнению с атмосферным) давление не страшно тканям тела млекопитающего, ибо живая ткань кита (как, впрочем, и человека) на 95% состоит из воды, а вода, как известно, несжимаема. Невредимыми остаются и все внутренние органы кашалота (не расплющивается, например, его грудная полость, хотя легкие и проводящие пути — трахеи, бронхи, альвеолы — наполнены не водой, а воздухом). И вовсе не потому, как еще недавно предполагали ученые, что во время ныряния внутренние органы кита каким-то образом оказываются защищенными от давления окружающей среды. Все дело в том, пишет кандидат биологических наук А. Яблоков, что в полости тела кашалота и во всех его внутренних органах во время ныряния устанавливается давление, равное гидростатическому. Лучшим доказательством этого служит тот факт, что кашалот питается донными рыбами и глубоководными кальмарами. Ведь если кашалот проглотит добычу, тело которой испытывает гидростатическое давление, то и в желудке и в кишечнике кита давление, естественно, должно быть точно таким же. В противном случае пойманные кашалотом рыбы или кальмары разрывались бы у него в пищеводе и желудке подобно пневматическим бомбам. Но этого не происходит, и на большой глубине тело кита остается целым и невредимым.

Огромное давление, которое испытывает тело кита, не мешает нормальному функционированию его внутренних органов. Силой сокращения сердечной мышцы кровь движется по сосудам на любой глубине точно так же, как и на поверхности. Не изменяются и процессы фильтрации мочи в почках, всасывания в кишечнике, газообмена в альвеолах легких и т. д.

В дополнение к сказанному остается еще отметить, что кит не испытывает никаких неудобств и затруднений от сжатой на глубине грудной полости, так как, в отличие от ныряльщика-аквалангиста, он уходит под воду с одной порцией воздуха в легких. На глубине он не дышит, и, следовательно, отпадает необходимость в расширении и сжатии грудной клетки. Кроме того, поскольку запас воздуха не возобновляется, значит, в организме не накапливается коварный азот, закупоривающий при подъеме на поверхность мелкие кровеносные сосуды.

Большой интерес для решения проблемы глубоководного погружения представляет устройство энергетического хозяйства китообразных. Находясь на поверхности воды, кит запасает кислород не только в легких, но и непосредственно в тканях тела, главным образом ($^3/_4$ всего запаса) в мышцах, где он связывается дыхательным пигментом — миоглобином (поэтому мышцы кашалота имеют почти черный цвет). Перед нырянием кит как бы выключает кровообращение. Таким образом, многие работающие органы животного оказываются на "голодном пайке". Во время погружения и перерыва в дыхании происходит резкое уменьшение числа сердечных сокращений (брадикардия), замедление циркуляции крови в организме (к мышцам уже не требуется доставлять новые порции кислорода). Драгоценным газом, запасенным в легких, непрерывно снабжаются лишь мозг да сердце кашалота. Почки, печень, мышцы переходят на новый режим работы. Все это позволяет киту экономить под водой чуть ли не $^1/_2$ общего количества кислорода легких, растекающегося вместе с кровью (при нормальном дыхании кита на одну лишь работу его мышц расходуется 41% потребляемого кислорода), дает возможность животному подолгу охотиться за донными рыбами и кальмарами без возобновления запасов воздуха и позволяет стремительно выныривать с тысячеметровых глубин. После выныривания, когда в мышцах кита возобновляется нормальная циркуляция крови, немедленно происходит насыщение ее молочной кислотой — продуктом работы мышц.

Теперь, когда мы знаем хитроумно устроенное природой энергетическое хозяйство кита, имеющиеся в его организме "приспособления" для глубоководного ныряния и длительного пребывания под водой, рассмотрим, насколько реальна для человека возможность уподобиться киту.

Выше было отмечено, что и кит и человек принадлежат к млекопитающим и все системы органов у них построены в принципе сходно. Но это еще не все, если говорить об аналогии "кит — человек". Американскому кардиологу Полю Уайту, например, удалось снять кардиограмму ныряющего кита. В кита

выстрелили двумя гарпунами-электродами. Почувствовав боль, животное ушло на глубину. В момент ныряния электрокардиограф, соединенный с гарпунами-электродами длинными тросами, зафиксировал замедление вдвое ритма сердцебиения. Та же картина наблюдается и у опытных, натренированных ныряльщиков. Другой американский ученый Сколэндер обследовал несколько австралийских ловцов жемчуга, умеющих нырять на глубину до 40 м и находиться под водой до 4 мин. Оказывается, пульс охотника за жемчугом под водой составляет не 70, а лишь 35 ударов в минуту. После всплытия ныряльщика количество молочной кислоты в его крови резко возрастает; то же происходит и у китов.

Можно не сомневаться в том, что дальнейшие тщательные биохимические и физиологические исследования покажут еще и другие, более тонкие черты сходства в процессах, протекающих в организме человека и кита. Однако и без этого опыт профессиональных ныряльщиков убедительно показывает, что человеку, намеревающемуся приспособиться к длительной подводной жизни, не заказан путь, которым шел кит в процессе своей эволюции.

Какие же механизмы нужно человеку позаимствовать у кита, чтобы он мог, подобно кашалоту, приспособиться к водному образу жизни? Прежде всего, необходимо изыскать способ накопления кислорода в мышцах. Возможно ли это? Ученые считают, что при современном высоком уровне развития биохимии и биофизики можно создать такие препараты, которые, после введения их в организм человека, будут депонировать кислород в мышцах (запасать большое количество кислорода в связанном виде), а потом, по мере расходования энергетических запасов, отдавать этот кислород работающим органам. Параллельно должна быть решена и другая не менее важная задача. Нужно найти средство, которое позволило бы уменьшить пороговую чувствительность дыхательного центра мозга к скопляющейся в крови углекислоте, или изыскать эффективный метод удаления ее из организма.

Ну, хорошо, может сказать читатель, предположим, что в недалеком будущем ученым удастся снабдить человека аналогом дыхательного механизма кита. Но ведь это не позволит до конца решить проблему длительного пребывания человека под водой, не даст возможность ему обжить глубины голубого континента. В лучшем случае человек сможет рассчитывать лишь на кратковременные экскурсии под водой (без акваланга и без скафандра), продолжительностью не более 1-2 час. А ведь человек мечтает о том, чтобы он мог находиться под водой не часы, а дни,

недели, месяцы и годы.

Как же быть? А нет ли иного варианта, помимо подражания китообразным? Может, поучиться у... рыб?

Невероятно? Нет, искусственные жабры Ихтиандра сегодня уже не фантастика, не гипотеза, а объект интенсивных разработок. Ученые ряда стран ныне всерьез работают над созданием искусственных жабр. В частности, в США изготовляется миниатюрный аппарат для насыщения крови кислородом. Искусственные жабры прикрепляются к поясу ныряльщика, идущие от них шланги соединяются с аортой. Легкие пловца заполняются стерильным несжимаемым пластиком; таким образом, они как бы выключены, и человек, опустившийся в морские глубины, дышит через "жабры", точнее, он вообще перестает дышать, кровь насыщается кислородом с помощью искусственных жабр.

Узнав об американских разработках "искусственных жабр", Жак-Ив Кусто заявил с трибуны происходившего в Англии Международного конгресса подводников:

> "Если этот проект осуществится, искусственные жабры дадут возможность тысячам новых Ихтиандров погружаться на глубины в 2 км и более на неограниченное время!"

Недавно Уолтер Рабб, инженер исследовательского центра одной американской фирмы, создал с помощью всемогущей химии... "пластмассовые жабры". Первая демонстрация нового изобретения произвела огромное впечатление на присутствующих. И действительно, удивляться, поражаться и восхищаться было чем. В центре аквариума, наполненного водой, среди красивых, юрких, беспорядочно снующих золотых рыбок сидел, не обращая внимания на яркие вспышки фоторепортерских "блицев", обычный хомяк и преспокойно грыз лист салата (рис. 12).

Как же удалось хомяку покорить "водную стихию"? Почему этот маленький обитатель суши, находясь в течение нескольких часов на дне аквариума, не проявлял никаких признаков беспокойства? Все объяснялось предельно просто: хомяк был заключен в предварительно наполненный воздухом ящик, стенки которого были изготовлены из тончайшей, гибкой, полупрозрачной пленки, обладающей поистине волшебными свойствами.

Рис. 12. Хомяк, окруженный со всех сторон водой, преспокойно грызет лист салата

Изобретенную Раббом кремнийорганическую пленку называют селективной мембраной. Она получена путем многократного растягивания, состоит из 6 слоев, толщина каждого слоя равна всего лишь 0,025 мм, суммарная толщина — 0,15 мм. У кремнийорганической мембраны нет пор (в обычном понимании этого слова), и поэтому она не пропускает воду. Вместе с тем она проницаема для газов. Правда, не для всех. В первую очередь для кислорода и углекислого газа. Молекулы O_2 и CO_2 могут "протиснуться" между молекулами мембраны, переходя из области более высокого парциального давления в область, где давление этого газа ниже (рис. 13).

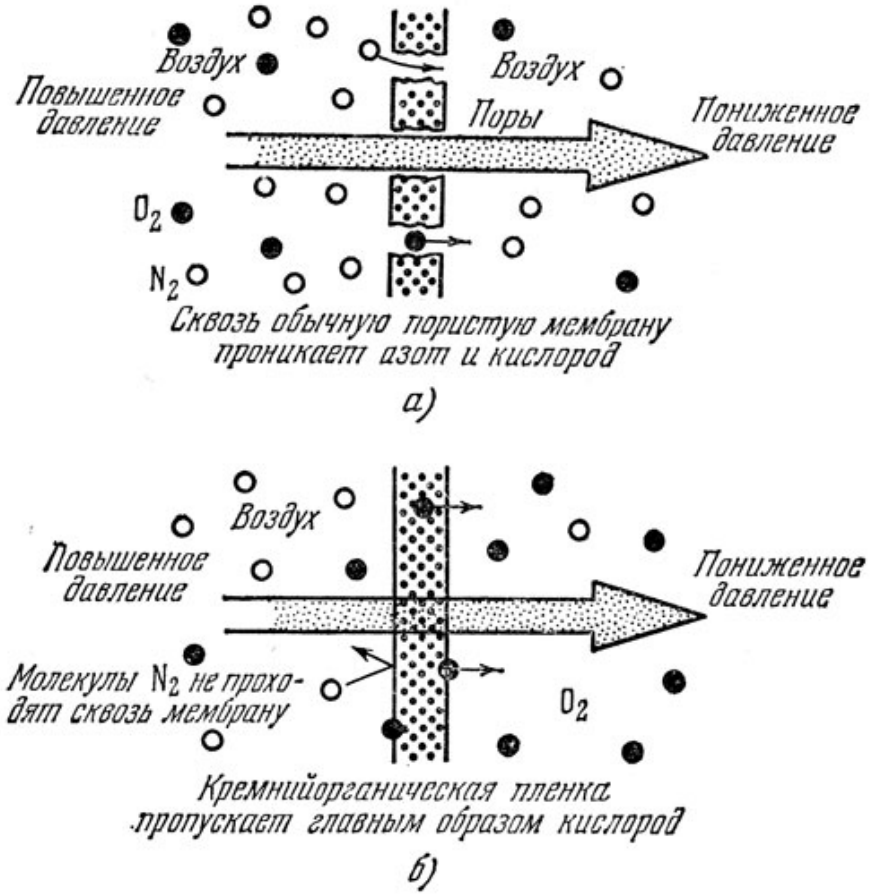


Рис. 13. Схема действия обычной пористой (а) и селективной (б) мембраны

Именно совокупность этих ценных свойств селективной мембраны и обеспечила столь благоприятные условия для долговременного пребывания хомяка в кремнийорганической клетке, окруженной водой. Мембрана, отделявшая воду от воздуха при атмосферном давлении, извлекала кислород из воды и вместе с тем почти не пропускала воду. Этим кислородом и дышал хомяк, а убыль живительного газа в домике непрерывно восполнялась притоком кислорода, растворенного в воде аквариума. Углекислый же газ, выдыхаемый хомяком, проходил сквозь мембрану в обратном направлении — в воду (ведь в воде парциальное давление CO_2 практически равно нулю; по существу, его там нет). Таким образом, в поставленном эксперименте кремниорганическая пленка выполняла те же функции, что и жабры у рыб. Создание сверхтонкой селективной мембраны открывает новые широкие возможности в различных областях

науки и техники. Например, пленка Рабба позволяет значительно упростить существующие конструкции аппаратов "сердце — легкие" и уменьшить их размеры. Из этой пленки можно изготовлять компактные, дешевые и надежные кислородные палатки для больных. А если учесть, что кислород проходит сквозь мембрану вдвое быстрее, чем азот[14], составляющий примерно 80% того воздуха, которым мы дышим, то кремнийорганическую пленку с успехом можно использовать, скажем, для обогащения кислородом воздуха больничных палат, полевых госпиталей, а также домов, обитатели которых боятся открывать форточку зимой. Для этого лишь надо вставить в оконные рамы вместо стекол полупрозрачную селективную мембрану и приобрести недорогой насос, он будет отсасывать испорченный воздух из помещения. Весьма эффективно можно использовать кремнийорганическую пленку для получения благородных газов из воздуха без холодильных машин, при применении кислородного дутья в домнах, для усовершенствования системы снабжения воздухом на космических кораблях и подводных лодках. Нетрудно изготовить и мембрану, которая будет пропускать воду, оставляя "за бортом" соли, растворенные в морской воде. Таким образом, появляется еще одно возможное решение проблемы опреснения воды. Но, пожалуй, самая заманчивая перспектива — использование селективной мембраны в качестве "жабр" для человека.

Уолтер Рабб утверждает, что изобретенная им кремнийорганическая мембрана позволит человеку находиться под водой без пополнения запасов воздуха для дыхания неопределенно долгое время. Для этого достаточно 2 — 2,5 $м^2$ пленки, которая будет отгораживать пространство, заполненное воздухом, от окружающей воды. Разумеется, прежде чем будут созданы надежные подводные аппараты с такой мембраной, придется преодолеть еще немало трудностей, разрешить ряд сложных задач. Но современные ученые нетерпеливы. Они спешат и, как знать, быть может, уже в самые ближайшие годы подарят людям надежно работающие искусственные жабры, откроющие человеку путь в глубины голубого континента.

Недавно патент на "пластмассовые жабры" получил американский изобретатель Эйрес (штат Нью-Джерси). Изучая более десяти лет механизм дыхания рыб, он создал аппарат, позволяющий находиться под водой без кислородных баллонов. Эйрес рассчитал, что для обеспечения потребности человека в кислороде под водой потребуется мембрана площадью в 6 $м^2$. Ее он прикрепил к нижней стороне четырех длинных лент из пластмассовой пленки, непроницаемой для газов. Получился

своеобразный мешок. Ленты укладывают на воду так, что единственным источником кислорода, поглощающим вместе с тем углекислый газ, является вода. Полости, образующиеся между двумя пленками, проницаемой и непроницаемой, изобретатель соединил шлангами.

Чтобы убедить недоверчивых чиновников патентного бюро в том, что "искусственные жабры" не миф, Эйресу пришлось на одном из нью-йоркских пляжей с головой залезть в воду. В течение полутора часов изобретатель дышал, как рыба. Полупроводящие пленки-мембраны, соединенные шлангами с обычной маской аквалангиста, извлекали растворенный в воде кислород и отдавали в в воду углекислый газ. "Искусственные жабры" отлично выдержали испытание. Эйрес считает, что его аппарат можно применять на подводных лодках и получать таким способом весь кислород, требующийся для команды, на любой глубине, в любой части океана, в течение любого времени. В настоящее время Эйрес работает над усовершенствованием своего изобретения. Его последняя модель снабжена мембраной, укрепленной на каркасе, который человек несет на себе. Изобретатель глубоко уверен, что созданный им аппарат сделает человека по-настоящему "земноводным" существом.

Однако некоторые ученые не разделяют оптимизма Эйреса и других разработчиков "искусственных жабр" относительно возможности широкого практического использования последних для покорения человеком морских глубин. Они считают, что человеку вообще ни к чему превращаться в "человека-рыбу", в "человека-амфибию", что "на больших глубинах он окажется беспомощным и беззащитным". По их мнению, освоение глубин Мирового океана будет совершаться иначе. Они утверждают, что научные исследования голубого континента, разведка и добыча полезных ископаемых морей и океанов, установка подводного нефтяного оборудования, ремонт подводных нефтяных скважин, подъем затонувших судов, прокладка трубопроводов, ремонт коммуникаций связи и многие другие работы в глубинах царства Посейдона должны выполняться лишь с помощью автоматических устройств, или роботов, дистанционно управляемых с поверхности. Но большинство специалистов-океанологов не согласно с этим утверждением. Они придерживаются той точки зрения, что робот не может сравниться с человеком по маневренности, гибкости и приспособляемости, а главное, по способности непосредственно увидеть и оценить обстановку на месте, сделать правильное заключение и принять должное решение. Словом, все нынешние и будущие планы эксплуатации богатств Мирового океана требуют присутствия человека и

машин, которые нужно установить на дне моря. "На суше, — пишет известный советский океанолог член-корреспондент АН СССР Л. А. Зенкевич, — вслед за географами-первооткрывателями идут строители. Так и в океане. Исследования, проводимые Ж. Кусто и американскими учеными во главе с М. Карпентером, показали, что строительство подводных домов — это не спорт и не просто интерес к глубинам, а путь к освоению океана человеком".

На Земле наблюдается интенсивный рост населения и одновременно растет потребность в ресурсах на душу населения; вместе это ведет к сильному возрастанию абсолютной "потребности в ресурсах". Только на самом примитивном уровне развития общества действует простое соотношение: каждому проценту увеличения населения должен отвечать процент прироста средств потребления. С появлением же потребностей в орудиях труда, жилье, одежде и т. п. это примитивное равенство сразу же нарушается, и по мере развития общества мы отходим от него все дальше и дальше. К тому же общество не просто ежегодно воспроизводит само себя — оно развивается, растет, прогрессирует. Этот прогресс и количественный рост требуют непрерывного технического перевооружения и довооружения всех отраслей промышленности, постройки новых фабрик, шахт, рудников, заводов, новых городов, железных дорог, воспитания новых, притом численно возрастающих и желающих получить более высокую квалификацию поколений и т. п. Здесь уже, естественно, критерий "процент за процент" неприменим. Темпы прироста количества различных продуктов, извлекаемых людьми из литосферы, гидросферы и биосферы Земли, должны значительно обгонять темпы прироста населения на нашей планете. Поэтому, глядя в будущее в масштабе "веков и всей планеты", ученые обращаются к Мировому океану. Еще Д. И. Менделеев указывал на практическую ценность ресурсов моря, предсказывал, что наступит время, когда океан станет одним из основных "снабженцев" промышленности и сельского хозяйства. Сейчас это время пришло, говорят ученые, пора вплотную заняться изучением Мирового океана, поставить его богатства на службу народа. Океан может и должен дать людям требуемые запасы пищи, энергии и первичного сырья.

Наибольший интерес сегодня представляет для нас та часть морского дна, которую называют "континентальной платформой" (отсюда и название экспедиции Кусто "Преконтинент"). Она простирается в среднем на 50 км от береговой линии, и ее средняя глубина равна 100 м. В целом континентальная платформа является подводным продолжением континентов

земного шара и наследует от них все характерные свойства. Она очень велика и содержит огромные сокровища: нефть, уголь, железо, золото, серебро, платину, титан, уран, никель, медь, кобальт, марганец, алмазы, бром — все что угодно. Именно этот "новый" континент, несомненно, станет первым объектом освоения Мирового океана.

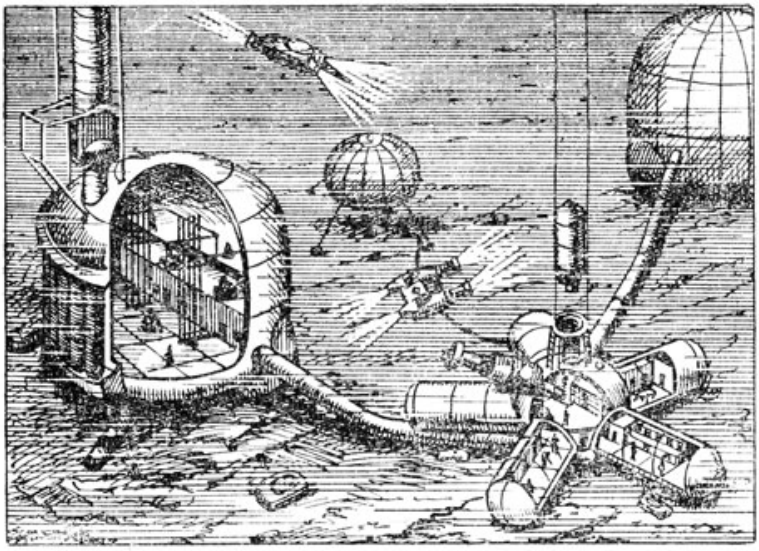
Наступление на этот плацдарм практически уже началось. Человека, который еще десять лет назад предложил бы заложить рудник на дне, скажем, Тихого океана, сочли бы безумцем. А сегодня Япония получает со дна моря $^1/_5$ часть своей добычи угля и свыше 2 000 000 т железной руды. Недавно возникла проблема использования железо-марганцевых конкреций. Этим вопросом особенно живо интересуются в США. Марганец для американцев (не говоря уже о редких элементах) — очень дефицитное сырье, и они весьма интенсивно готовятся к разработке железо-марганцевых конкреций. Расчеты специалистов показали, что морская руда обойдется раз в восемь дешевле, чем добываемая на суше. Американский инженер Меро предложил два проекта добычи морской руды. Один такой: с помощью трала соскребать со дна океана конкреции и поднимать их па поверхность. Второй, более производительный способ, но несколько более сложный: опускать насосы и с их помощью перекачивать грунт на поверхность. Оба способа технически эффективны и доступны. Морские руды — источник металла, неисчерпаемый в буквальном смысле слова. Расширение добычи металла на суше приведет к его распылению, т. е. в конечном счете увеличит его поступление в океан. Новое соотношение между убылью и поступлением металла только изменит темп накопления, но не прекратит рудообразования!

Весьма перспективные пути извлечения непосредственно из морских вод многих рассеянных в них элементов подсказывают нам сами обитатели Мирового океана. Речь идет о том, что многие морские организмы обладают замечательной способностью избирательного поглощения и, следовательно, концентрации отдельных химических элементов. Например, голотурия концентрирует ванадий, некоторые виды морской травы — марганец. В сырых морских водорослях ламинариях концентрация йода достигает 0,1 — 0,5%, а в их золе — 50%, тогда как в окружающей воде йода содержится всего около 0,05 мг на 1 л, или 0,000005%. Иными словами, ламинария способна накапливать в своем теле в десятки и сотни тысяч раз больше йода, чем его имеется в окружающей среде. Способность концентрировать редкие, рассеянные в воде элементы присуща и многим морским животным. Так, некоторые полихеты создают в

своем теле концентрацию кобальта, достигающую 0,002%, а никеля — 0,01 — 0,08%, т. е. в сотни тысяч и миллионы раз более высокую, чем в воде. Крупный морской рак лангуст доводит количество кобальта до 2 мг на 1 кг живого веса, т. е. увеличивает его концентрацию в сотни тысяч раз. Некоторые оболочниковые концентрируют в своей крови ванадий, который у них выполняет окислительную функцию — ту же, что железо у других животных. Кровь у них зеленого цвета. У асцидий концентрация ванадия в пигменте крови в миллиарды раз превышает его содержание в морской воде. Имеются организмы, приспособленные к накоплению цезия, некоторых радиоактивных элементов, а также ряда других веществ. В чем секрет столь удивительной способности морских организмов извлекать из морской воды различные вещества, мы пока не знаем. Но успехи современной биохимии, пишет Л. А. Зенкевич, дают основание надеяться, что этот секрет будет раскрыт. Следовательно, не исключена вероятность того, что человеку в будущем удастся искусственно воздействовать на природу морских организмов и в несколько раз усилить их способность к накоплению ценных металлов. И тогда на дне морей появятся плантации "растений-металлургов", урожай которых будет выражаться тоннами ванадия, брома и других элементов, собранных с каждого гектара морской "пашни".

Освоение человеком морских глубин позволит по-новому организовать разработку не только рудных, но и подводных нефтяных и газовых месторождений. В настоящее время бурение большей части скважин на море производится на глубинах воды, не превышающих 60 м. И это вполне понятно, если учесть, что сооружение опор высотой в несколько десятков метров, которые должны выдерживать нагрузки, измеряемые сотнями тонн, и к тому же противостоять напорам штормовых волн или льда, является делом сложным и дорогим. Несовершенство подводной нефтедобывающей техники сегодняшнего дня, зависимость ее эксплуатации от метеорологических условий привели к тому, что из сотни нефтяных скважин, пробуренных в Соединенных Штатах Америки на глубине более 60 м, только 10 получили промышленное значение. В ряде стран на морских нефтяных промыслах штормы и ураганы унесли за последние годы много человеческих жизней и причинили материальный ущерб, оцениваемый в сотни миллионов долларов. Чтобы избежать этого и сделать резкий скачок в добыче жидкого топлива со дна водных бассейнов, очевидно, необходимо все приустьевые сооружения скважин сделать подводно-придонными. Специалист по гидродинамике Леон Дэнфорт недавно разработал проект подводного нефтепромысла будущего. Центральная

звездообразная камера, напоминающая известную нам подводную лабораторию Жака-Ива Кусто, представляет собой помещение, в котором может работать до 45 человек. Люди дышат гелиево-кислородной смесью, давление которой равно давлению окружающей воды. По горизонтальным водонепроницаемым галереям трубчатого сечения рабочие могут проходить в любую из трех боковых шарообразных камер (рис. 14), где размещены буровые установки. Необходимые для бурения инструменты спускаются с находящейся на поверхности плавучей базы в специальном контейнере, который перемещается по направляющим тросам. Буровые трубы укладывают связками вдоль наружной стороны камеры. Бурение производится через отверстие в центральной части камеры. В случае необходимости работники промысла могут проводить наблюдения вне камер с помощью специальных подвижных закрытых аппаратов. Один из таких аппаратов, пришвартованный своей носовой частью к шлюзу в центральной камере, показан на рисунке. Люди могут также передвигаться под водой в небольших открытых двухкорпусных аппаратах, оборудованных автономным двигателем. С поверхности новая смена доставляется к рабочим местам в лифте, который также перемещается вдоль направляющих тросов. Отработавшая смена подвергается декомпрессии в специальной камере внутри центрального помещения, а затем поднимается на поверхность в герметичном лифте.



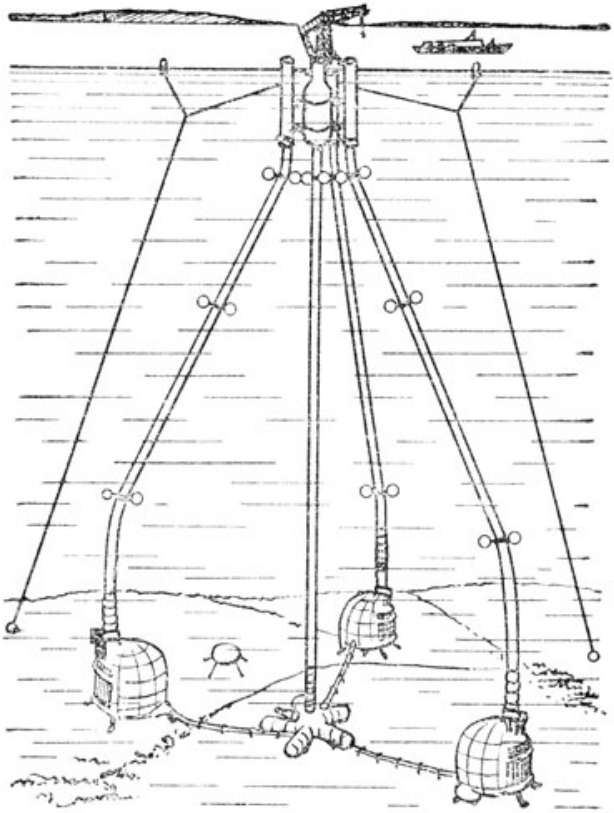


Рис. 14. Проект подводного нефтепромысла будущего

Имеются и другие проекты. Специалисты считают, что применение глубоководной техники при разработке подводных нефтяных месторождений не будет лимитироваться глубиной бассейна; в некотором отношении небольшое увеличение его глубины будет даже благоприятным, так как с глубиной уменьшается волновое движение воды. По прогнозам ученых, добыча нефти на нашей планете к 2000 г. удвоится и достигнет 3 млрд. тонн. После освоения человеком морских глубин большая часть этого количества будет извлекаться из недр акваторий. Подводные нефтяные и газовые промыслы станут такими же обычными и привычными, как сейчас наземные.

Мировой океан — это не только несметная сокровищница минеральных веществ, но и использующая энергию Солнца гигантская автоматически действующая "продовольственная машина", которой мы еще не научились управлять. Это богатейший продовольственный склад, к которому мы еще не подобрали ключи. Перед учеными стоит грандиозная задача — изучить и поставить на службу человечеству те процессы создания органического вещества, которые осуществляются почти на $^3/_4$ поверхности земного шара. Однако, как это ни парадоксально, пока оно используется людьми в десятки и сотни раз хуже, чем органические ресурсы суши. Мы должны научиться активно вмешиваться в сущность протекающих в морях и океанах процессов с тем, чтобы превратить голубой континент в свою главную житницу.

Рано или поздно человечество окажется перед необходимостью широкого развития подводного сельского хозяйства, подобно тому как это веками осуществляется на суше. Уже сейчас становится актуальным вопрос о целесообразном воспроизводстве и эксплуатации рыбных запасов. Рыба является самым многообещающим продуктом для удовлетворения растущих потребностей человечества. Мировой улов ее сейчас достиг 500 миллионов центнеров в год. По содержанию животных белков мировая добыча рыбы превзошла нынешнее производство говядины и телятины на 18 миллионов тонн. Между тем специалисты считают, что уже сегодня можно вылавливать 55 — 60 миллионов тонн рыбы в год. И это не предел. Английский ихтиолог Люкас пишет, что с 1 га моря можно получать рыбы в 2 раза больше, чем мяса с 1 га хорошего пастбища. В перспективе выдвигается идея создания "стад" рыбы, подобных стадам сельскохозяйственных животных. Этот проект отнюдь не плод безумия; хотя соответствующие исследования только начаты,

разговоры о строительстве гигантских подводных "ферм", в которых рыб будут разводить в колониях, подкармливать и отлавливать, ведутся сейчас весьма серьезно. Более того, модели рыбных "стойл" уже находятся в стадии разработки. Это блоки из цемента, снабженные отверстиями; они будут устанавливаться на дне моря и снабжаться кормом. Вокруг "стойл" можно насадить густые водоросли — наиболее благоприятную среду для размножения рыб. Имеется также идея использования тепла подводного ядерного реактора для создания искусственных восходящих потоков, которые, благоприятствуя развитию планктона в верхних слоях, обеспечат, таким образом, рыб кормом. Практическое осуществление этих вполне реальных идей и проектов позволит, по мнению специалистов, в недалеком будущем довести мировую добычу рыбы до 2200 — 2500 миллионов центнеров, что по белковому содержанию равноценно 2,5 — 3 миллиардам голов крупного рогатого скота.

В последние годы у нас в стране на плоскодонных прибрежьях стали высевать хлореллу — одноклеточную зеленую водоросль. Первый же урожай, собранный в 1954 г., оправдал самые смелые прогнозы. С гектара "хлореллового луга" можно получить примерно в 20 раз больше корма, чем, скажем, с гектара клевера. Тонна муки из сухих водорослей (она применяется в животноводстве и птицеводстве) содержит 178 кг солей калия (в том числе 3 кг йодистого калия), 16 кг органического азота, около 10 кг фосфатов и другие ценные вещества, необходимые для нормального развития животного организма. Кроме того, хлорелла — ценное сырье для производства спирта и удобрений. Надо полагать, что "морские луга" в ближайшие десятилетия завоюют обширные пространства морского дна, они станут столь же неотъемлемой частью сельскохозяйственного производства, как и обычные луга. И тогда океанологи будут выступать в роли своеобразных агрономов и зоотехников — специалистов по "возделыванию" океана.

Океан — неисчерпаемый источник не только пищи, но и уникальных лекарств. Японский исследователь доктор Цунемацу Такамото выделил из бурой морской водоросли ламинарии вещество, снижающее кровяное Давление. Это вещество, получившее название ламинин, весьма эффективно при гипертонии. Из ряда водорослей выделены также вещества, предотвращающие свертывание крови, получены кровезаменители, которые применяются при шоковых состояниях, вызываемых потерей крови. Опыты на животных показали, что препараты нуклеиновых кислот, выделенные из молок лососевых пород рыб, оказывают противовоспалительный эффект,

увеличивают работоспособность животных. Но главное — они устойчиво снижают уровень холестерина в крови (как известно, избыток холестерина в крови — основная причина атеросклероза). Недавно в организме некоторых рыб и беспозвоночных были открыты и изучены сильнодействующие яды, которые также могут быть поставлены на службу медицине. В рыбе фугу, например, которая водится в Японском море, найден яд, названный тетродотокси-ном. Выявлено химическое строение и механизм действия этого яда. Одна часть молекулы токсина, точно соответствующая по размерам иону натрия, прерывает передачу нервного импульса. По способности блокировать передачу нервного импульса тетродотоксин в 160 000 раз активнее такого известного наркотика, как кокаин. Яд этой рыбы — мощное обезболивающее средство, все шире применяющееся в медицинской практике. Советский биолог В. Тульчинская обнаружила, что некоторые водоросли и беспозвоночные (мидии, креветки, крабы, бокоплавы) выделяют сильные антимикробные вещества типа антибиотиков. Подобные исследования открывают перспективу получения морских антибиотиков и воздействия ими на те бактерии, которые нечувствительны к известным антимикробным средствам. В морских организмах содержатся также вещества, проявляющие антивирусную активность. Из многих морских съедобных моллюсков выделены вещества, способные убивать вирусы. Устойчивость этих веществ, названных паоли-нами, поразительна. Когда врачи научатся шире использовать лекарства морского происхождения, в медицине откроется новая эра.

Возможно, что в недалеком будущем исследования океанских глубин позволят решить еще одну чрезвычайно важную для человечества проблему. Речь идет о пресной воде. Напомним, что около 60% всей поверхности земного шара — зоны, страдающие от отсутствия или недостатка пресной воды. Анализ, проведенный в 1963 г. Международным агентством по атомной энергии, показал, что около 5% населения нашей планеты проживает в безводных пустынных и полупустынных районах, там, где много солнца, но нет воды. Острый недостаток в пресной воде испытывают огромные районы Африки, Ближнего и Среднего Востока. Велика нужда в воде и в Южной и в ряде районов Северной Америки. Возьмем, к примеру, Лиму — столицу Перу. Она расположена в засушливой пустыне. Этот город почти не знает дождей. Дома строятся без водосточных труб. В городе вы не найдете дождевого плаща. Жителей Лимы снабжают водой с другой стороны Анд, за сотни километров. А ведь город находится у самого океана. Проблема пресной воды остро стоит и

в ряде районов Советского Союза. В частности, развитие богатейших районов Закаспия сдерживается отсутствием мощных источников пресной воды. Решение проблемы обеспечения пресной водой важно не только для населения пустынных и полупустынных районов нашей планеты. Во многих странах эта проблема становится все острее и острее по мере роста населения, освоения земель, роста новых городов и промышленных центров, потребляющих значительное количество воды (в резиновой промышленности США, например, расход воды составляет в среднем около 2600 $м^3$ на тонну продукции, в сталелитейной — больше 2500 $м^3$ на тонну металла). Там, где нет возможности или очень трудно обеспечить население пресной водой, сооружаются установки, опресняющие соленую воду морей. Между тем на дне морей и океанов, как полагают ученые, имеется множество источников пресной воды. Практическое использование с помощью специальных аппаратов этих неизвестных и пропадающих ныне впустую источников было бы гораздо выгоднее, чем опреснение морской воды. Над этим сейчас думают специалисты многих стран, и, быть может, недалеко то время, когда человечество навсегда забудет, что такое недостаток воды.

В некоторых местах Мирового океана существует значительная разница температур между поверхностными и глубинными слоями воды. Эту разницу температур можно превратить в механическую энергию, которая заставит турбину вращаться и, следовательно, давать ток. Прежде всего это относится к водам, омывающим африканский континент. Очевидно, именно там люди начнут в первую очередь сооружать электростанции для снабжения энергией механизмов, работающих на дне. Мы будем получать из морей и океанов не только продовольствие и необходимые материалы, пресную воду и энергию, но и дейтерий — "топливо" для управляемых ядерных реакций. Вспомним, что дейтерия в морской воде огромное количество и что распад 0,5 г этого вещества может выделить столько энергии, сколько необходимо автомобилю со средним объемом цилиндров для кругосветного путешествия.

Разумеется, для того, чтобы колонизировать глубины Мирового океана и поставить на службу человечества все его несметные богатства, ученым предстоит еще провести огромную научно-исследовательскую работу, поставить множество экспериментов. "Нам сейчас ясно, — пишут коллеги Кусто, — что смесь гелий-кислород позволяет значительно увеличить величину погружения, но остается еще выяснить, до каких глубин ее можно применять и какие физические процессы сопутствуют

растворению смеси в тканях организма. Одновременно с этим техническое снаряжение должно быть лучше приспособлено к новым физико-химическим условиям. Например, хорошо известное в акваланге устройство, воспринимающее гидростатическое давление, должно быть приспособлено, с одной стороны, к большим глубинам погружения, с другой — к новым физическим свойствам используемой газовой смеси. В подводных домах приборы контроля и подачи газовой смеси (кислорода, гелия, водорода) до сих пор регулировались самими гидронавтами. Теперь же необходимо разработать полностью автоматизированные конструкции. Что же касается систем очистки воздуха, то они должны основываться на физических, а не на химических принципах. Не решена еще и проблема связи в подводных условиях. Пока можно использовать только ультразвуковые частоты; кроме того, в кислородно-гелиевой смеси нормальные частоты человеческого голоса сильно изменяются вследствие высокой скорости звука в гелии (примерно в три раза большей, чем в воздухе). В подводном мире человек должен перемещаться, и надо еще долго работать над усовершенствованием средств транспорта. Сейчас в этой области существуют две основные тенденции, которые надо развивать параллельно. С одной стороны, это исследовательские подводные лодки, специально оборудованные, позволяющие достигать глубин 4000 — 5000 м. С другой стороны, это подводные лодки с большим радиусом действия, позволяющие человеку выход на дно для производства различных работ. Французская служба подводных исследований (OFRS) разрабатывает сейчас конструкцию нового типа подводной лодки — "Аржиронет", которая может быть одновременно и подводным домом. Автономия лодки около восьми дней, в дальнейшем этот срок будет увеличен. Максимальная глубина погружения "Аржиронет" достигнет 1000 м".

Итак, впереди еще много работы. Но сегодня мы можем с уверенностью сказать, что человек способен приспособиться к новым для него условиям подводного мира и что на дне, до глубин порядка 100 м, временно или постоянно могут жить группы исследователей, не испытывая особых трудностей. Больше того, уже первые опыты, проведенные французами, американцами, русскими, японцами и итальянцами, показали, что человек на больших глубинах вполне может выполнять сложные и трудные работы с большей быстротой и точностью, чем на земле. Дальнейшее покорение голубого континента обеспечит общее развитие науки и техники, которое сейчас даже не поддается предвидению. Океанология и биология, бионика и

электроника, физиология и химия, ядерная техника и машиностроение, судостроение и приборостроение — вот тот далеко не полный перечень областей науки и техники, которые будут способствовать проникновению человека в глубины водного царства нашей планеты, в область, для него пока столь же "неестественную", что и космос.

Стремление человека познать неизведанные тайны вселенной, дерзкие замыслы ученых проникнуть в загадочные глубины Мирового океана, к неиссякаемым источникам продуктов питания, топлива и полезных ископаемых, лежащих под толщей воды, — все это свойственно человеческому разуму. Кусто часто спрашивают: "Почему вас так привлекает море?" И ученый неизменно отвечает: "Тайна всегда влечет, и я не могу ей противиться. Море полно неизвестности. Я ухожу под воду с таким же чувством и предвкушением, с каким космонавт выходит в космос". Тот, кто внимательно читал книгу Жака-Ива Кусто "В мире безмолвия", вероятно, помнит слова: "Мы начинали нырять просто из неодолимого любопытства... Теперь нас влекут в глубины еще и проблемы океанографии. Мы стараемся открыть вход в колоссальную гидросферу, ибо предчувствуем близость эры морей". Это замечательное высказывание Кусто полностью соответствует прогнозу известного советского океанографа, ученого с мировым именем Л. А. Зенкевича: "Следующий век будет веком космоса и океана".

Ныне почти все ученые мира сходятся в одном: колонизация средних глубин Мирового океана произойдет в ближайшие 15 — 30 лет. "Демографы предсказывают, пишет профессор Р. Вассьер, ближайший помощник Кусто, — что население земного шара увеличится до 6 109 к двухтысячному году. Плотность населения на континентах будет прогрессивно увеличиваться. Перенаселение возникнет вследствие процессов более сложных, чем экономические. Потребности человека увеличиваются изо дня в день, и, естественно, промышленность, разрастаясь, занимает все большие площади. Кроме того, непрерывно растут потребности в энергии и сырье. Параллельно развитию промышленности уменьшаются запасы сырья и энергии. Но даже если допустить, что развитие техники и науки откроет какие-то новые их источники (но какой ценой?), то все равно рано или поздно на Земле они иссякнут. Если это так, то почему же не освоить $^{7}/_{10}$ территории нашей планеты, скрытой, правда, от нас водой? Как раз над разрешением этой проблемы и работают океанологи. Они показали, что водные массы океана представляют огромные богатства. Пока еще нет возможности освоить глубинные районы океанов, но завоевание материковой

отмели — дело ближайшего будущего. Если задаться этой целью, то можно освоить новый континент, равный по площади Азии. Часто можно слышать рассуждения о биологической продуктивности вод океана. В некоторых странах уже используют водоросли в промышленных целях. Надо начинать использовать подводные убежища, из которых человек мог бы выходить, чтобы работать и строить сложные сооружения. Необходимо смелее ломать установившиеся традиции. Если бы наши предки довольствовались плодами леса, то они не начали бы охотиться, возделывать землю, не пытались бы орошать ее. На примере многих стран видно, что зачастую площади, считавшиеся бесплодными и бесполезными для сельского хозяйства, становились рогом изобилия. Почему же тогда мы отворачиваемся от подводного мира? На дне обнаружено множество источников энергии, и в будущем можно переместить центры тяжелой индустрии и развивающиеся центры мирной атомной промышленности на глубины 100-200 м. Так возникает мысль о подводных городах. Сейчас это уже не научная фантастика, и проведенные опыты служат тому доказательством. Начало подводным поселениям положено, и в будущем они принесут человечеству большую пользу".

Да, видно не за горами день, когда сказочные богатства голубого континента станут служить человечеству. Вечный сон царства Нептуна разбудят многочисленные заводы, шахты, рудники и обогатительные фабрики, нефте- и газопромыслы, химические комбинаты, атомные электростанции и подводные порты. В мире безмолвия появятся морские луга, фактории для разведения рыб, вырастут благоустроенные города и поселки с радио, телевидением, прессой, кино, клубами, театрами и стадионами. Излюбленным местом отдыха обитателей гидрокосмоса станут экзотические подводные сады и зоопарки, которые по красоте и благоустройству превзойдут самые лучшие известные земные заповедники. На дне морей появятся академгородки, учебные комбинаты, многоэтажные корпуса научно-исследовательских институтов, лаборатории, геофизические станции. Труды больших научных коллективов позволят открыть немало вековечных тайн Мирового океана: мы узнаем, как образовались на дне морей и океанов подводные каньоны, напоминающие затопленные русла рек, и глубоководные желоба, похожие на разломы в земной коре, почему появляются и исчезают некоторые виды рыб, как возникает у берегов Южной Америки таинственное течение Эль-Ниньо, несущее неисчислимые беды населению прибрежных районов Перу, что такое "красный прилив", приносящий гибель

миллионам рыб, чем вызывается смена многолетних периодов обильных и скудных уловов рыбы, как поднялись на дне океана одинокие горы с плоскими, словно срезанными ножом, вершинами, почему затонули многие корабли, о гибели которых сложено немало легенд... И, быть может, в конце концов разрешится извечный спор философов, историков и археологов и мы узнаем, существовала ли Атлантида.

> "Рано или поздно, — заявил Жак-Ив Кусто, — человек поселится на дне моря... В океане появятся города, больницы, театры... Я "вижу новую расу — "Homo aquaticus" ("Гомо акватикус") — грядущее поколение, рожденное в подводных деревнях и окончательно приспособившееся к новой окружающей среде..."

Беседа десятая. Биологическая связь

В настоящее время бионики во многих странах мира ведут широкие исследования различных способов биологической связи (биоинформации). Эти исследования преследуют следующие цели.

Выявить те неизвестные нам механизмы и каналы информации между живыми существами, моделирование которых позволило бы поставить на службу человечеству принципиально новые средства связи.

Создать общекосмический язык — средство связи с неведомыми "братьями по разуму", обитающими на других планетах.

Восстановить связи далеких наших предков с миром животных, утраченные в ходе эволюции, и выработать новые способы связи людей с живой природой, которые бы дали возможность более эффективно использовать разнообразные способности зверей, птиц, рыб и даже насекомых.

Начнем с рассмотрения последней проблемы. Не так давно известный австрийский зоолог Конрад Лоренц, посвятивший всю свою жизнь изучению поведения животных, написал книгу, которую он назвал "Кольцо царя Соломона". В предисловии к ней автор привел библейскую легенду, повествующую об удивительной способности царя Соломона изъясняться на языке животных, скрытом от других людей. "Но я склонен принять эту сказку за истину, — пишет Лоренц, — я совершенно готов верить, и у меня есть к тому все основания, что Соломон действительно мог беседовать с животными, даже без помощи волшебного кольца, обладание которым приписывает ему легенда. Я могу сам делать это и без помощи магии, черной или какой-либо другой...

Я нисколько не шучу. Если "сигнальный код" общественных видов животных вообще можно назвать языком, он может быть понят человеком, изучившим его "словарь"..."

Возможно ли это на самом деле? — может спросить читатель. Существует ли вообще язык животных? Способны ли они "разговаривать", воспринимать и передавать "осмысленную информацию?"

Несомненно, у многих животных есть свой "язык", правда, очень примитивный и простой, но позволяющий им общаться между собой, передавать с его помощью состояние "радости", тревоги, испуга, голода и др. Многие звуки, издаваемые животными, можно даже перевести на язык людей, и не одним словом, а целой фразой. Например, гусиный крик "га-га-га" имеет,

оказывается, вполне определенный смысл: "торопитесь, торопитесь!" А более длинная "фраза" "га-га-га-га-га-га" означает: "тут есть чем поживиться, задержимся здесь". Немецкий профессор Эрих Боймер на основании шестидесятилетних наблюдений установил, что все птицы, принадлежащие к семейству куриных, пользуются одним "языком", состоящим из 30 звуков, несколько различающихся музыкальным тоном. Эти звуки выражают определенное настроение или желание, например: "я хочу есть", "оставьте меня в покое" и т. п. Используя микрофоны и звукозаписывающую аппаратуру, Бой-мер не раз демонстрировал, как куры знакомятся друг с другом, завязывают дружбу, заставляют цыплят клевать зерно и успокаивают их, если они чем-нибудь взволнованы.

Звуки, издаваемые многими птицами, как показывают исследования, несут весьма сложную информацию. Ученые утверждают, что в голосе птиц — зяблика, к примеру, — можно различить звуки, имеющие самое разное значение. В полете он кричит иначе, чем перед атакой. Совсем по-другому звучит голос обиженной птицы. Об опасности предупреждают три вида звуков. Эти последние особенно интересны, так как в зависимости от рода опасности птицы издают разные крики. Так, ласточки определенным звуком предупреждают о летящем ястребе и весьма отличным от него — о показавшейся поблизости кошке.

Птичьи "разговоры" связаны со всеми важнейшими формами деятельности: питанием, гнездованием, спариванием, выведением птенцов, кочевками, перелетами и др. При помощи одних звуковых сигналов осуществляется связь между партнерами по стае, при помощи других — между партнерами по гнезду или между родителями и птенцами и т. д. Так, французскому орнитологу Ф. Граме удалось заметить, что наседка-грачиха издает различные звуки при подлете самца к гнезду, кормлении, отдыхе самца вблизи гнезда и т. д.

Интересно, что между физической структурой птичьего крика и его назначением существует тесная связь. Впервые на это обратил внимание английский орнитолог Марлер. Он обнаружил, что предостерегающий крик птицы при виде летящего хищника весьма специфичен: он продолжителен, без резких изменений высоты звука. Услышав этот крик, трудно определить, откуда он несется. Для голоса же птицы, зовущей птенцов, наоборот, характерны резкие изменения звуковой частоты. Это помогает птенцам найти место зовущей их птицы. Любопытно, что точно такую же структуру имеет и крик, предупреждающий о появлении совы. Почему?

Оказывается, назначение такого крика — не предупреждение

птиц о необходимости спрятаться или улететь, а сигнал о том, что они должны приблизиться к сове и окружить ее. Ночной хищник "ощупывает" пространство вокруг себя своеобразным локатором, издавая, подобно летучей мыши, ультразвуковые "писки". Чем больше птиц носится рядом с совой, тем труднее ей выбрать себе жертву: слишком много помех возникает на ее "радиолокационном экране".

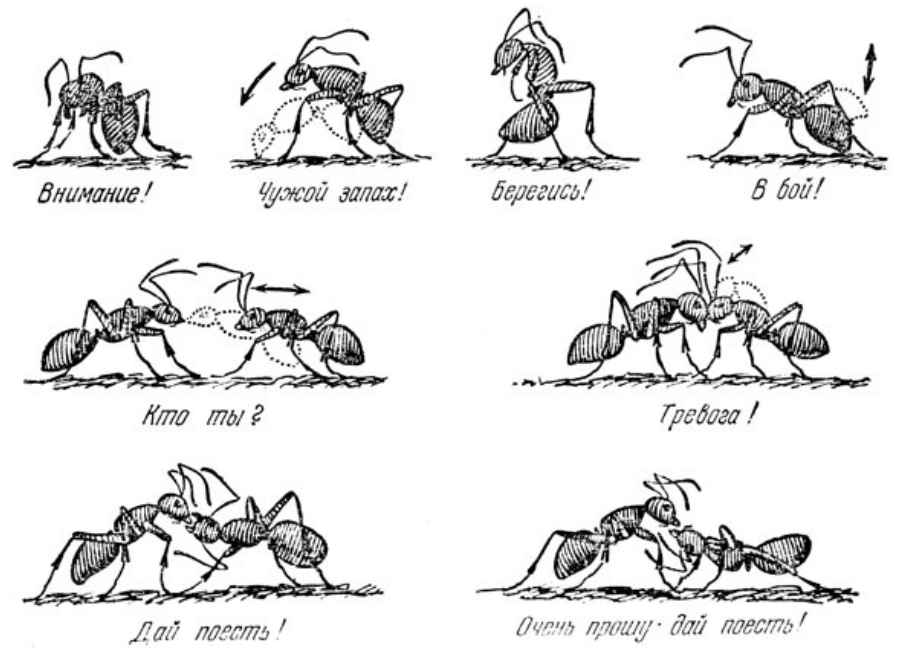


Рис. 1. 'Язык' жестов красногрудых муравьев древоточцев

Говоря о языке птиц, особо следует отметить ворон. Длительные исследования американских ученых показали, что у ворон существуют различные "языки": городские вороны не понимают ворон сельских, вороны, живущие в штате Коннектикут, не могут общаться с воронами Калифорнии. Был проделан такой опыт. На пленку магнитофона записали крики ворон, обитающих во Франции. Затем эти записи были воспроизведены в местах гнездовья ворон на американском берегу. Оказалось, что только небольшая часть американских ворон реагировала на крики своих французских родственниц, остальные оставались равнодушными. Не все французские вороны понимают "по-американски". Но существуют вороны-бродяги, кочующие из городов в сельские местности, из одного штата США в другой, которых по праву можно назвать "полиглотами". У них есть не только свой, особый "язык", они "понимают", как удалось установить, и "языки" других ворон, городских и сельских.

Очевидно, среди птиц одного вида имеются владеющие "иностранными языками" и менее "образованные" особи.

Весьма многообразны способы общения у насекомых. Так, например, энтомолог профессор П. И. Марковский, наблюдая в течение нескольких лет красногрудых древоточцев, отличающихся очень крупными размерами, установил, что сложные взаимоотношения членов муравьиной семьи сопровождаются своеобразными жестами (рис. 1). "Язык жестов этого вида, — пишет ученый, — оказался очень богатым. Мне удалось подметить более двух десятков сигналов...

Сигналы древоточца можно условно разбить на три группы. Часть их представляет собой направленные прямые действия и на близком расстоянии воспринимается окружающими. Таковы сигналы "Дай поесть!", "Прошу: дай поесть!" К той же группе можно отнести сигналы "Берегись!" и "Какой это запах?" Эти сигналы наиболее примитивны.

Сигналы второй группы выражают состояние муравья, подающего их. Таковы сигналы "Внимание!", "Чужой запах!". При необходимости они становятся реальными действиями, направленными на какой-либо объект. Следующая, третья группа сигналов, по-видимому, наиболее древняя. Она представляет собою действия, ставшие условными и тем не менее выражающие определенное состояние или потребность. Таковы сигналы "В бой!", "Тревога!", "На помощь!", "Кто ты?". Сигналы "Чужой запах!" — удар головой о дерево — и "Тревога!" — легкая вибрация головой — по сути своей одинаковы. Ведь второй представляет собой как бы множество следующих друг за другом первых сигналов. Вероятно, второй сигнал условный и произошел от первого — сигнала-действия. Таким образом, можно заподозрить, что "язык" древоточца происходит от прямых действий, которые сперва приобрели оттенок условности, затем потеряли прямую связь с действием и стали отвлеченным сигнальным движением — жестом, т. е. настоящей кинетической речью".

Некоторые муравьи общаются друг с другом при помощи звуков, издаваемых особым органом, сходным со "скрипкой" кузнечика. С очень близкого расстояния их может услышать любой человек с хорошим слухом. Впервые эти звуки удалось записать на магнитофон. Изучение записей показало, что звуки, издаваемые муравьями одного и того же вида, могут быть совершенно различными, хотя издающие их органы у всех муравьев одинаковы. Эти факты а также некоторые другие являются убедительным доказательством того, что звуковые сигналы служат для связи муравьев друг с другом. Небезынтересно отметить и то, что "голоса" самцов и самок

муравьев значительно громче, чем у бесполых муравьев-тружеников.

У термитов средством передачи информации на расстояние служит своеобразный "телеграф". Пользуясь им, они, в частности, могут издалека сигнализировать своим собратьям об опасности. Тайну "телеграфа" термитов раскрыл английский зоолог Ф. Хоуз. Он два года наблюдал за термитами, фотографировал их поведение в момент опасности и записывал на магнитофон сигналы, издаваемые "часовыми" этих насекомых. Оказывается, что "часовые" термитов сообщают жителям своей общины-холмика о приближении неприятеля, "выстукивая" головой на стенках туннеля сигнал тревоги. Для подтверждения своих выводов Хоуз проделал следующий опыт: он выложил стены туннеля неопреном — материалом, поглощающим звук; завидев врага, "часовые" подняли тревогу, но неопрен не пропустил звука, и термиты были застигнуты врасплох.

Есть насекомые, "язык" которых отработан особенно хорошо. Это пчелы. Ученым давно было известно, что каждая пчела-сборщица, вернувшись в улей с добычей, исполняет иногда круговой танец, а иногда "виляющий", или "танец с трепетанием". Прилетевшая со взятком пчела обычно начинает "танцевать" в одиночку, но, как правило, вскоре к ней присоединяются другие пчелы и танец становится коллективным. Чем "темпераментнее" танцует пчела, тем большее число пчел следует за ней. Эти танцы неоднократно описывались в многочисленных статьях, но до последнего времени никто из изучавших быт пчел не смог объяснить их значение. Высказывалась мысль, что это просто некий ритуал, так сказать, танец урожая, который пчелы танцуют на радостях. Первым, кому удалось расшифровать назначение и смысл танцев пчел, был немецкий ученый фон Фриш[15]. Он доказал, что танцы пчел — это служебная пантомима или, точнее, своеобразный язык; с помощью него они передают друг другу информацию о направлении полета к месту, в котором находится медонос, о расстоянии до этого места, об изобилии и виде медоноса, с которого был собран взяток.

Фон Фриш установил, что пчела-фуражир исполняет круговой танец тогда, когда медонос близко, когда другие пчелы могут отыскать его просто по запаху, а скорость танцевальных движений и их продолжительность указывают на богатство источника нектара. Чем обильнее источник, тем энергичнее и продолжительнее танец, тем большее число пчел вылетает к месту сбора нектара. Присоединившиеся к танцу пчелы узнают не только о близости медоноса; по запаху, исходящему от пчелы-фуражира, они узнают о том, каков именно этот медонос.

Получив необходимые сведения, они отправляются за добычей. Когда же пчела-разведчица прилетает со взятком издалека, она исполняет уже не круговой танец, а "танец с трепетанием". Запах, исходящий от пчелы, и в этом случае указывает вид цветков, с которых она получила взяток, а энергичность танца — богатство источника.

В последнее время наши знания о "языке" пчел значительно расширились благодаря новейшим исследованиям мюнхенского зоолога доктора Гаральда Эша, сотрудника профессора Фриша. Поставленные ученым опыты показали, что "танцу с трепетанием", при помощи которого пчела-разведчица объясняется с другими пчелами, сопутствуют акустические сигналы. Эти сигналы производятся крыльями насекомого и несколько напоминают треск велосипеда с мотором. При этом оказалось, что продолжительность треска служит указанием на длину пути от улья до места взятка. Так, треск, издаваемый крыльями в течение 0,4 сек, соответствует расстоянию в 200 м. Исследователю удалось доказать, что пчелы-сборщицы и пчелы-разведчицы, обмениваясь акустическими сигналами, отлично понимают друг друга. Был проделан такой эксперимент. Танец взятка исполняла модель пчелы, управляемая электромагнитом. С помощью маленького репродуктора в улье создавался соответствующий треск. Но вдруг пчелы, которые бежали за "танцовщицей", напали на нее и "убили": вся модель была покрыта пчелиным ядом и жалами. Как выяснилось впоследствии, с помощью звуков, подобных треску, разведчица получила от пчел, следовавших за нею в танце, приказ сдать часть собранного нектара (как мы теперь уже знаем, для пчел это чрезвычайно важно: они узнают, к каким цветам им надлежит направиться по прибытии на место назначения). Однако искусственная пчела этого приказа не выполнила, за что и поплатилась "жизнью". В дальнейшем "пчелы" доктора Эша вели себя более осмотрительно и нападениям более не подвергались. Позднее мюнхенский ученый сумел также установить, что, чем "отчаянней" танцует балерина, тем выше качество найденного ею нектара. "Рассказывая" о качестве взятка, разведчица учитывает и расстояние. Так, о "высококачественном" нектаре, находящемся на большем расстоянии, она сигнализирует треском такой же силы, как и о взятке худшего сорта, но расположенном ближе. Достойно внимания и то обстоятельство, что расстояние до места взятка закодировано в издаваемом треске с большой точностью.

Интересные по своим результатам опыты были поставлены московским профессором Н. И. Жинкиным, занимавшимся изучением языка обезьян.

Приступая к экспериментам, ученый считал, что сигнальные крики обезьян представляют собой зашифрованные определенным кодом информационные сообщения и расшифровать их можно с помощью кибернетических методов. Исходя из этого, профессор Жинкин подошел к изучению системы языка обезьян во всеоружии новейших средств науки и техники. Опыты проводились в Сухумском обезьяньем питомнике Академии медицинских наук СССР. Изучались магнитофонные записи сигнальных криков гамадрилов, живущих в условиях, близких к естественным. Записанные звуки подвергались спектральному анализу, а затем изучались методами теории алгоритмов.

Длительные исследования речевого аппарата обезьян показали, что он существенно отличается от человеческого. Поэтому обезьяны издают специфические сложные звуки, часть которых мы даже не слышим. Гамадрилы — низшие обезьяны. И все же, несмотря на это, разнообразие звуков, при помощи которых они общаются, достаточно велико. "Словарь" гамадрилов состоит из 40 сочетаний различных звуков. При виде сетки для ловли обезьян сторожевые гамадрилы издают громкие крики "ак! ак! ак!". При этом все обезьяны оглядываются, матери сажают детенышей на спину и ждут распоряжений вожака. В случае крайней опасности подается одиночный сигнал "ак!". По нему все обезьяны немедленно спасаются бегством. Если же самка в создавшейся ситуации теряет из виду детеныша, она издает крик "ау!". Такие же крики издают все обезьяны, когда из их стада уносят кого-нибудь. Тот, кого уносят, тоже кричит "ау!". Это своего рода перекличка. По ситуации, да и по характеру возгласа "ау" очень напоминает ауканье компании людей в лесу. Правда, тут есть различие: человек делает ударение на последнем слоге: "ау", а гамадрилы — на первом: "ау".

"Словарь" гамадрилов не ограничен только сигналами тревоги или боли, в него входит также тихий и довольно сложный по звуковому составу сигнал удовольствия. Он похож на "хон", где "х" — нечто напоминающее придыхание, "он" — ясно слышимое "о", произнесенное несколько в нос.

Наконец, по свидетельству Жинкина, кроме описанных звуков ему "... удалось наблюдать глухой, безголосный звук, не напоминающий ни один из человеческих. Он возникает в результате хорошо видных быстрых смыканий губ и какого-то сложного движения кончика языка... По сигнальному значению этот звук можно определить как ориентировочный, но захватывающий не все стадо, а только отдельное животное. Он встречается при замечаемой этим животным смене ситуации,

например при подходе матери к детенышу". Условно его можно обозначить как "птпт".

Как установили ученые, шимпанзе, живущий в естественных условиях, умеет издавать до 20 различных звуков, выражающих дружелюбие, тревогу, удовольствие, а также другие простые эмоции. Но его голосовой аппарат способен на значительно большее. Ученые, работающие в Университете в Оклахоме, проводят в настоящее время систематические исследования семи шимпанзе, выросших в различных условиях, с целью выяснения их способности к речевому общению.

Для двух детенышей созданы особые условия. Они будут воспитываться без контакта со своими сородичами. Доктор Леммон, руководитель этих исследований, старался выбрать двух детенышей, возможно более близких по возрасту и генетической конституции (близнецы у шимпанзе встречаются редко). Отобранные Люси и Мэй — сводные сестры (отец общий, но матери разные). Их одевают как маленьких детей, спят они в кроватках. В дальнейшем их будут пытаться научить пользоваться туалетом, вести себя за столом, а также во всех других случаях возможно ближе к тому, как ведет себя человек. Младшую обезьянку Люси будут учить говорить, тогда как Мэй послужит "контролем". Она будет слушать речь, как и обычные дети, но ее не будут специально обучать речи. 20 лет назад подобные опыты проводились в лаборатории приматов в штате Флорида, и шимпанзе по имени Викки выучила 4 слова. По той же программе воспитываются еще пять шимпанзе постарше. Их обучают, но, кроме того, они много общаются с другими обезьянами.

Когда Люси и Мэй будут близки к зрелости, их введут в общество обезьян, чтобы выяснить, как повлияло воспитание в среде людей на их поведение.

Мы привели лишь несколько примеров достигнутых учеными успехов в познании "языка" животных и ведущихся в этом направлении работ. Однако, научившись обмениваться информацией с машинами, люди до сих пор не умеют "разговаривать" ни с одним животным, даже с обезьяной.

Что же мешает нам полностью овладеть этим даром природы? Отсутствие единого языка для системы "человек — животное".

Человек с давних времен усвоил — увы, ставшее уже привычным — "высокомерное" отношение к другим живым существам и обычно требует, чтобы они учились отвечать на его язык. Между тем установление тесного "контакта" между людьми и животными могло бы принести огромную пользу науке и многим областям практической деятельности человека.

Общеизвестно утверждение кибернетики, что в тех случаях, когда между двумя системами можно установить прямую и обратную связь, например посредством языка, возможен целенаправленный процесс управления. Теперь представим себе на минуту, что нам удалось познать и освоить, скажем, "язык" таких талантливых и трудолюбивых гидростроителей, как бобры. Может ли помешать нам что-либо использовать этих животных для целей подводного строительства? Конечно, нет!

Продолжая подобные рассуждения, мы, по-видимому совершенно логично, подойдем к ситуации, в какой-то мере напоминающей широко известную историю Маугли, рассказанную Киплингом в его "Книге джунглей". А ведь подобная перспектива, можно смело утверждать, не лишена практического смысла. И все это, в конечном счете, не так уж фантастично, если учесть, что кое-что ученым уже удалось сделать. Обратимся к фактам.

...Городок Рыбное под Рязанью. Дом, похожий на замок, — крупнейший в мире научно-исследовательский центр пчеловодства. В институте имеется лаборатория, подробнейшим образом изучающая быт пчел, все их повадки, язык. Сотрудники лаборатории научились понимать "разговоры" пчел, распознавать их настроение по издаваемым звукам. Поставят лаборанты в ульи микрофоны и записывают на магнитную ленту пчелиные разговоры. Знание языка пчел помогает пчеловодам. Любой пасечник знает, что, если пчелы задумали роиться, быть беде. Много причин тому — мало корма, жара, гибель матки. Волнуется семья, вот-вот распадется. Гул в улье в это время особенно тревожен, требователен. Прослушает пасечник с ленты голоса пчел и сразу поймет — надо немедленно помогать семейству! Даже о том, что пчелы воруют мед друг у друга, пчеловоды научились узнавать по звукам. Метод этот называется теперь акустической диагностикой. Им все больше и больше начинают пользоваться на практике работники "сладкой индустрии".

А вот другой пример. Для того чтобы действительно управлять животными, нужно научиться командовать ими, причем так, чтобы они выполняли наши приказы. Иначе говоря, мы должны научиться "говорить" животным: "Иди сюда!" или "Иди туда!", "Делай это!" или "Не делай этого!", "Откладывай яйца здесь!" или "Не откладывай яйца там!", "Питайся этим!" или "Не ешь того!" Чтобы осуществить такое управление, нужно в совершенстве овладеть "языком", который животные понимают, которому они повинуются. Так, научившись подражать крику гусей и познакомившись с их словарем, профессор Конрад

Лоренц, как он заявляет, довольно часто "беседовал" с гусями, причем обе стороны хорошо понимали друг друга. Услышав "фразу", состоящую из шести слов: "га-га-га-га-га-га", гуси следовали совету ученого и отправлялись на поиски более сочной травы. Точно так же птицы слушались его, когда он рекомендовал им подольше задержаться на той или иной лужайке.

Досконально познав "язык" животных (т. е. значение звуковых сигналов), человек может весьма эффективно использовать его и против самих животных, для борьбы с ними, когда это диктуется практическими интересами. Так, например, пользуясь "языком" насекомых и грызунов, можно уничтожить множество вредителей. Ведь только одни термиты ежегодно наносят США убыток, исчисляемый в 100 000 000 долларов. А в ФРГ, по данным официальной статистики, вред, который ежегодно наносят стране насекомые, крысы и мыши, оценивается в 400 000 000 марок. По вине этих вредителей лишь в Центральной Европе теряется почти 15% урожая.

Изготовить устройство, управляющее поведением насекомых, не так уже сложно. Основная трудность заключается в том, чтобы понять смысл издаваемых ими звуковых сигналов, записать их на пленку, а затем абсолютно точно воспроизвести. Современная техника звукозаписи позволила, например, записать и проанализировать ультразвуковые "комплименты", которые расточают своим "дамам сердца" представители некоторых видов. Исследователи записали и изучили также "любовные серенады", исполняемые самцами кузнечиков, которыми они вызывают на свидание самок. Если в определенном пункте организовать передачу аналогичных звуков, записанных на пленку, то ими можно легко завлечь тех или иных вредных насекомых и без труда уничтожить их. Именно по этому пути и пошел в поисках эффективных методов борьбы с комарами канадский санитарный инспектор Норман Вайтекер. Заключив пару комаров в камеру, оснащенную микрофоном, он записал на пленку призыв самца к самке. Теперь эти записи используются для завлечения комаров в специально созданный ядовитый туман. Так отпала необходимость в прокладке дорогостоящих осушительных каналов: небольшая ультразвуковая установка способна освободить громадные площади от вредных насекомых.

Около 10 лет назад руководитель лаборатории физиологической акустики французского Научно-исследовательского института агрономии профессор Р. Бюнель занялся передачей своеобразных "радиорепортажей" саранчи. Задача была не из легких. Нужно было найти способы, не спугнув насекомых, установить как можно ближе к ним очень

чувствительные микрофоны, записать "сольные выступления" саранчи разных видов, а главное — разобраться в смысловом значении издаваемых насекомыми звуков, установить взаимосвязь между их характером и действиями саранчи. В конце концов длительный кропотливый труд и терпение исследователя были вознаграждены. После целой серии хитроумных опытов ученому удалось расшифровать крик самца, желающего привлечь самку. И когда такие звуки были воспроизведены с помощью электронной аппаратуры в степи, самки саранчи тотчас же устремились на свидание, они взбирались на машину, густо облепляли ее и добирались даже до аппаратуры!

Начатые так успешно исследования "языка" саранчи продолжаются по сей день. Конечная их цель — до конца познать "язык" саранчи и, пользуясь им, найти действенное средство борьбы с нашествиями этих вредителей сельскохозяйственных культур. В перспективе можно представить себе совершенно реально такую картину: в один из дней призыв, который далеко разнесут громкоговорители, соберет в одно место тучи саранчи, где люди уничтожат ее. И наоборот, транслируя определенные звуки — сигналы тревоги, опасности, можно будет прогнать надвигающуюся тучу прожорливых вредителей, прежде чем они сядут на поля.

По мнению ряда ученых, в борьбе с вредителями можно также успешно использовать и метод глушения естественных сигналов. Это вызывает, как показали эксперименты, хаос в поведении многих насекомых, затрудняет их встречу или делает ее вовсе невозможной.

Не менее актуальна проблема изыскания эффективных методов борьбы с птицами — врагами полей и садов. В конце лета бесчисленные стаи птиц — воробьев, дроздов и других — наносят громадный ущерб многим колхозам и совхозам нашей страны. Скворцы (численность их в стае во время осенних кочевок иногда доходит до нескольких тысяч) ежегодно поедают на виноградниках и садах Южной Европы и Северной Африки 20 — 30% урожая. Южные районы СССР также подвержены нашествию скворцов. Огромный ущерб посевам кукурузы во Франции, Голландии, ФРГ и ГДР наносят различные врановые.

Слишком большие скопления птиц в некоторых районах нежелательны и по другим причинам. В крупных населенных пунктах, где зимуют большие стаи птиц, шумно и грязно (в Мюнхене, Лондоне, Филадельфии и в других городах на зиму остается до 100 000 скворцов, численность сизых голубей достигает в Гамбурге 12 000 — 20 000, в Турине — 60000, в Мюнхене — 100 000, в Вене — 200 000). Многие пернатые

обитатели городов разносят опасные для человека инфекции. Особенно тяжелое положение из-за птиц создается ныне в таких городах, как Куксхафен, Бремерхафен и Вильгельмсха-фен. Между устьями Эльбы и Везера сейчас обитает, по ориентировочным данным, 20 000 — 25 000 чаек. Полчища обнаглевших разбойниц нападают на голубей, истребляют певчих птиц, будят своими криками горожан, совершают налеты на кемпинги, где воруют еду туристов прямо со столов. Их испражнения заражают водоемы и реки и губят рыб. Они обирают сады. Птицы стали нападать даже на людей. Наибольший ущерб прожорливые хищницы наносят рыболовству. Целыми стаями они набрасываются на платформы, на которые в гавани сгружают рыбу с судов, и пожирают все — от рыбы лучших сортов до сельди. По подсчетам ветеринарной службы Бремерхафена, "завтрак чаек" в одном лишь этом городе ежедневно уносит 15 г свежей рыбы. Рассчитывать на то, что чайки уберутся добровольно, не приходится. Вот уже много лет, как у них не осталось естественных врагов. Лисы практически истреблены, а морские орлы стали чрезвычайно редки...

В новую фазу "взаимоотношений", явно не дружественных, вступили ныне авиация и птицы. В безбрежном голубом небе им вместе становится уже тесно, не уживаются они и на аэродромных площадках. В США, например, подсчитали, что птицы — виновники значительной доли авиационных катастроф. Предполагается, что некоторых птиц привлекают в аэропорты звуки высокого тона от работающих турбовинтовых двигателей "Алиссон-501": частоты этого звука сходны с частотой звуков, издаваемых множеством насекомых,. Наблюдения за поведением птиц в оклахомском аэропорту показали, что в период бескормицы большие стаи птиц слетаются в аэропорт на звук работающих двигателей на самолетах "Электра". Были зарегистрированы случаи, когда пилоты на земле вынуждены были выключать двигатели, чтобы избежать засасывания в них птиц.

Как же защититься от вредных последствий большого скопления птиц?

Технические достижения XX века, как известно, не затронули огородное чучело. И приходится признать, что оно уже не пугает даже птиц. Не боятся птицы ныне и старого дедовского арсенала — хлопушек и свистков. Даже пулеметный огонь, который применяют в Австралии для борьбы с эму, уничтожающими пшеницу, и тот не дает желаемых результатов. Некоторые горячие головы предлагали использовать ядохимикаты для борьбы с птицами, уничтожающими посевы; однако это недопустимо. Во-первых, потому, что одновременно погибнут птицы, приносящие

огромную пользу. Во-вторых, потому, что многие птицы, приносящие вред в одних условиях, полезны в других. В США проводились опыты по отпугиванию птиц от взлетных площадок аэродромов звуком высокой интенсивности (до 120 дб). Но эти эксперименты удачи не принесли. Дело в том, что чистые звуки произвольно выбранной частоты не служат биологически действенным раздражителем, вызывающим врожденные безусловно-рефлекторные реакции у птиц. К такому звуку они легко привыкают, и, если он не сопровождается появлением какой-либо опасности, перестают реагировать на него. Правда, совсем недавно, по сообщениям печати, работники аэропорта в Милуоки изобрели совершенно новый, оригинальный способ предотвращения опасных столкновений крупных чаек с турбореактивными самолетами. По аэродрому рассыпают зерно, предварительно вымоченное в виски. Громкие крики поверженных наземь подвыпивших чаек отпугивают от аэропорта и других птиц! Англичане же перед взлетом самолета выпускают на своих аэродромах дрессированных соколов, которые очищают воздушное пространство от птиц.

Разумеется, два последних способа не могут решить проблемы. Ученые идут по другому пути. Они занимаются изучением и расшифровкой "языка" птиц. Из многочисленных звуков, издаваемых пернатыми, исследователи прежде всего стремятся, как и при изучении "языка" саранчи, выявить сигналы "наибольшей опасности", которые, кстати говоря, легче всего поддаются расшифровке. Одна из важных особенностей этих сигналов — их общность для видов, обитающих бок о бок, в одной стае.

Например, специфические крики сойки или дрозда, увидевших человека, предупреждают об опасности многих обитателей леса. Мелкие птицы встречают появление ястреба пронзительным криком, вызывающим одинаковые двигательные реакции у птиц разных видов.

Выявив сигналы опасности у некоторых птиц, ученые записали их на магнитную пленку. Воспроизведение этих сигналов сразу же принесло желаемый эффект и стало применяться в практике как универсальное, удобное и дешевое средство отпугивания — звуковой репеллент. В Гамбурге, Франкфурте и других городах созданы специальные станции, которые таким способом защищают сады от нашествия скворцов. В Африке звуковые репелленты весьма успешно применяют против некоторых видов ткачиковых, уничтожавших ранее до 70% урожая. В Мюнхене и Лондоне воспроизведение криков опасности отпугивает тысячные стаи зимующих птиц.

Ученые хорошо изучили также сигналы опасности в вороньих стаях. Среди этих криков удалось выделить сигнал "наибольшей опасности". В условном переводе на наш язык он означает: "Тревога! Улетим как можно скорей!" Именно этот сигнал ученые и записали на автоматически работающие магнитофоны. Теперь замаскированные магнитофоны устанавливают в излюбленных местах вороньих сборищ. При приближении стаи магнитофоны автоматически включаются и на вороньем "языке" истерически кричат об опасности. Стая в панике улетает.

Любопытен такой факт. Вороны любят собираться в одном месте тысячами. Обычными способами их очень трудно прогнать. Даже если это и удается, они упорно возвращаются обратно. Но стоит лишь один раз поднять их с облюбованного места с помощью звукового репеллента, как они сюда уже не возвращаются в течение года! Проводились также опыты, имевшие целью ограничить численность врановых, не допуская взрослых птиц к кладке яиц и к птенцам. Для этого дважды по две минуты воспроизводился все тот же сигнал "наибольшей опасности". Птицы немедленно покидали гнезда и потом долго избегали этих краев.

Таким образом, применение звукового репеллента уже принесло и, несомненно, принесет еще большую хозяйственную пользу. Достигнутые в этом деле успехи в значительной мере объясняются тем багажом биоакустических знаний, который удалось накопить многим ученым, стремившимся и стремящимся проникнуть в тайны "языка" насекомых и птиц.

Проблема "птицы и звук" имеет еще один аспект, представляющий большой интерес для науки.

Хорошо известно, что характерный набор звуков, издаваемых птицами определенных видов, служит таким же видовым признаком, как и строение конечностей, характер полета, тип гнездовья и т. д. Однако за время своей жизни каждая птица "усваивает" еще и другие звуки. Например, попугай может выучить до 300 слов и выкрикивать их в строго определенной ситуации. В частности, об одном знаменитом попугае породы жако, умершем 112 лет назад, рассказывают следующее.

> "Жако живо интересовался всем происходящим вокруг него, умел делать выводы из всего виденного и слышанного, давать правильные ответы на вопросы, выполнять приказания. Он приветствовал гостей, прощался с теми, кто уходил из дому, говорил только утром "добрый день" и только вечером "добрый вечер", требовал для себя еду, когда был голоден. Каждого члена

семьи своего хозяина он называл по имени и к одним проявлял большую симпатию, нежели к другим. Когда попугай хотел, чтобы к нему подошел хозяин, он кричал: "Папа, иди сюда!" Попугай пел, свистел и разговаривал точно так же, как человек. Временами на него находило "вдохновенье" и он импровизировал. В эти минуты его речь звучала, как речь оратора, которого мы слушаем издали, не различая отдельных слов... Когда кто-нибудь стучал в дверь, жако кричал громко и выразительно, как человек: "Войдите, войдите! Приказывайте, я ваш покорный слуга. Я рад, что имею честь, я рад, что имею честь!.."

В "домашнем зоопарке" известного в нашей стране натуралиста А. М. Батуева сейчас живет попугай Ку-коня. Он знает свыше 100 русских слов, которым его научил Андрей Михайлович. Попугай — мастер говорить то мужским, то женским голосом, то детским лепетом. Когда он слышит телефонный звонок, то голосом "милой мамы" говорит: "Алло, алло, я слушаю,!" — и вдруг неожиданно низким басом уведомляет: "Нет дома!"

Из числа "говорящих" птиц пальму первенства, по мнению орнитолога В. Гаврилова, следует отдать ворону. Он произносит слова чище, чем прославленные подражатели — попугаи жако, а память и смышленость ворона превосходят способности всех других пернатых. В одном из зооуголков Москвы несколько лет живет ручной ворон, который запоминает новые слова буквально на лету.

Произносить слова могут почти все представители "черной семьи": вороны, галки, сороки и грачи. Нередко этому учатся и наши обыкновенные скворцы, но даже опытных птицелюбов удивило напечатанное 26 февраля 1966 г. в газете "Ленинградская правда" сообщение А. М. Батуева о канарейке, которая научилась произносить свое имя и повторять фразу: "Вот какие миленькие птички, маленькие птички, чудненькие птички!"

С наиболее одаренными "говорунами" — попугаями и врановыми успешно соперничают представители рода майн. В лесах Южной Индии и Цейлона обитают ушастые майны, партия которых несколько лет назад была завезена в нашу страну. Любители, которым посчастливилось приобрести этих оригинальных птиц размером с крупного дрозда, иссиня-черных, с желтыми кожистыми "ушами", в восторге от своих питомцев. Птицы не только легко приручаются и подражают человеческой речи, но повторяют трели других пернатых и даже несложные

мотивы. Недаром этот вид называют еще певчей священной майной.

Звукоподражание птиц, не имеющее прецедента среди животных других классов (за исключением дельфинов, о которых речь будет идти ниже), до сих пор составляет одну из самых замечательных загадок природы и давно ждет своих исследователей.

В ряде стран мира ученые занимаются также изучением голосов обитателей царства Нептуна.

— Позвольте, — может сказать читатель, — о каком изучении голосов морских животных может идти речь, когда хорошо известно, что рыбы от природы немы? Ведь не зря же мировой океан мы по сей день называем "миром безмолвия", "миром тишины".

Да, все мы знаем пословицу "нем, как рыба" и часто, не задумываясь над ее правильностью, продолжаем пользоваться ею. Но вот несколько лет назад в павильоне Академии наук СССР на ВДНХ появилась интересная новинка. Вы входите в сумрачный зал, тихо играет музыка, слышен мерный рокот накатывающихся на берег волн, свист ветра и скрип гальки под ногами. Вдруг в тихую мелодию моря резким диссонансом врываются дикий визг, крик ужаса, свист и щелканье. Словом, нечто похожее на ультрамодернистскую музыку. Однако эти звуки имеют прямое отношение к науке, своим происхождением они всецело обязаны живым организмам, среди которых главное место занимают рыбы. Работами ряда отечественных и зарубежных исследователей создана новая ветвь биогидроакустики — биоакустика рыб. Она изучает морфологические и функциональные структуры звукопроизводящих аппаратов, связанные с ними физические особенности издаваемых звуков, слух и акустическую сигнализацию рыб.

У нас изучением в промысловых целях акустической сигнализации рыб и других морских животных занимается Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии, а также лаборатория ихтиологии Института морфологии животных АН СССР под руководством профессора Б. Мантейфеля. В США в этой области работают сотрудники Наррангессетской морской лаборатории на острове Род-Айленд. В американском Музее естественной истории и в некоторых университетах изучается связь, осуществляемая рыбами в звуковом и ультразвуковом диапазонах. Здесь эти исследования ведутся главным образом в военных целях. В частности, специалистов ВВС США очень интересует вопрос, каким образом некоторые тропические рыбы

"все вдруг" меняют направление своего движения. Высказывается предположение, что для этого используются какие-то неизвестные сигналы.

"Мир безмолвия", как установили ученые, необычайно шумен. Черноморская ставрида, например, издает звук, напоминающий треск гребенки. Голос кильки похож на гудение шмеля. Звук, издаваемый сардинами, немного напоминает шум прибоя, лещом — хрипы, морским карасем — щелчки. Вьюны пищат, за что их кое-где называют пищухами. Атлантическая рыба-жаба гудит, морской петух кудахчет, морские коньки резко щелкают (это похоже на звук лопнувшего стакана). Между прочим, замечено, что рыбы одного и того же вида в разных местах изъясняются по-разному. Например, ставрида, плавающая у берегов Крыма, издает звук, отличный от "кавказского произношения".

Весьма широким вокальным диапазоном обладает белуга: она свистит и воет, скрежещет и кричит. Пойманная на Каспии белуга, по рассказам рыбаков, испускает как бы тяжелый вздох, напоминающий рев. Морские черепахи — кто бы мог подумать! — хрюкают и рычат. Чрезвычайно "разговорчива", прямо-таки болтлива морская рыба тригла. Она непрерывно ворчит и квакает. Не менее болтливы и ракообразные. Самые шумные из них, пожалуй, крабы. По наблюдениям Даниэля Тино-Дюмортье, они могут издавать до 30 видов звуков, подобных стрекотанию. Рак альфеус, обитающий у нас на Дальнем Востоке, щелкает своей клешней так громко, что не только отпугивает врагов, но и оглушает добычу. Многотысячный подводный "город" альфеусов, по свидетельству известного океанолога Н. И. Тарасова, встречает врага грохотом, не уступающим шуму, стоящему в цехе при клепке котлов. Очень шумливы креветки. Издаваемый ими звук напоминает шипение масла на сковородке или треск горящих сухих веток. У так называемых щелкающих креветок из большой клешни исходит звук, подобный звуку пробки, вылетающей из бутылки. Этот звук бывает настолько сильным, что звуковая волна способна разбить бокал. Бывали случаи, когда креветки своим резким громким треском взрывали немецкие акустические мины. Но это еще не все о щелкающих креветках. Размером всего-навсего с писчее перо, они обычно собираются огромными стаями — до 200 особей на 1 м2 — и щелкают непрерывно днем и ночью, независимо от времени года. В некоторых районах океана щелканье тысяч креветок сливается в сплошной треск. Иной раз он достигает такой силы, что совершенно заглушает шум винтов и двигателей подводной лодки, в результате чего противник не может ее обнаружить. Этим не преминули воспользоваться японцы во время второй мировой войны. Они подсадили большую

колонию "щелкунчиков" в одну из военных гаваней США и тем самым полностью парализовали гидроакустические средства обнаружения. Под прикрытием сильного шума креветок японские подводные лодки вошли в американскую бухту, торпедировали стоявшие там корабли и безнаказанно удалились.

В морских и океанских "оркестрах" имеется немало оригинальных "ударников". Звук, похожий на барабанный бой, издает маленькая рыбка грезеус. Своеобразен стук в воде черноморского горбыля. Даже раковины и те стучат, закрывая свои створки, будто в сердцах хлопают дверью. Огромные, диаметром до 2 м "раковины-убийцы" — тридакны — захлопываются, словно гигантские кастаньеты, и издают при этом оглушительный стук, похожий на орудийный выстрел, который далеко разносится в воде. Любопытен такой факт из музыкальной деятельности "водяных ударников". Во время второй мировой войны на дне Чезапикского залива (Атлантическое побережье США) была установлена обширная сеть гидрофонов для обнаружения подводных лодок. Весь этот район очень тщательно охранялся. Тем не менее в первый же день, сразу после наступления сумерек, гидроакустики были оглушены невообразимым шумом, словно одновременно стучало множество отбойных молотков. Грохот все усиливался, достиг наибольшей силы и примерно через час после этого стал ослабевать, а в полночь внезапно прекратился. Залив был "прочесан" вдоль и поперек, но ничего подозрительного обнаружить не удалось. На следующий день "концерт для отбойных молотков с оркестром" повторился, причем грохот "солистов" превышал по громкости "аккомпанемент" — обычный шум моря — в несколько тысяч раз! В заливе были взорваны небольшие заряды. После этого шум ненадолго прекратился, а затем возобновился с прежней силой. Так повторялось каждый вечер, и военно-морская администрация вынуждена была начать розыски таинственных "авторов" непрошеных концертов. В расследование, а точнее в исследование, включились биологи. Последние установили, что виновником переполоха являлась... небольшая рыба крокер из семейства горбылей. Одна такая рыба "стучит" не очень громко. Но специалисты установили, что летом в Чезапикском заливе собирается "толпа" из 300 000 000 таких "барабанщиков". Небезынтересно, что даже при взрывах в заливе боевых глубинных бомб во время учений крокеры ни на минуту не прекращали свою концертную деятельность.

Доставили неприятности морские обитатели и американским минерам. В годы войны во множестве расставлялись морские акустические мины. Они должны были срабатывать от шума

винтов корабля, однако внезапно стали взрываться без видимых причин. Долго ломали головы специалисты, покуда не "поймали с поличным" рыб-жаб. Достаточно было одной такой рыбке "квакнуть", и мина срабатывала.

Совершенно особые звуки издают крупные морские млекопитающие. Среди них наибольшую популярность создала себе своим голосом белуха. По описаниям натуралистов и наблюдателей, она может громко хрюкать, глухо стонать и свистеть, издавать звуки, напоминающие плач ребенка, удары колокола, женский пронзительный крик, отдаленный шум детской толпы, игру на музыкальных стеклах или на флейте с переливчатыми трелями, как у певчих птиц. Недаром это белое с желтоватым оттенком животное моряки называют "морской канарейкой". Не раз в годы войны гидроакустики подводных лодок докладывали своим командирам: "Слышу шум гребного винта идущего корабля". На подводной лодке отдавали приказ о боевой тревоге, но вместо противника поблизости оказывалось... резвящееся животное.

Китообразные обладают большими вокальными возможностями. Они намного превзошли даже известную перуанскую певицу Иму Сумак — диапазон их голоса простирается от инфра- до ультразвука. Порой звуки, издаваемые морскими млекопитающими, похожи на рев быка. Мощным ревом оглашают водные глубины, в частности, морские львы, а их подруги визжат, отвечая на призыв своего супруга и повелителя.

Известно, что водная поверхность пропускает в воздух лишь очень малую часть звука, рождающегося в морских глубинах. Однако есть рыбы, издающие такой громкий "крик", что его можно услышать, находясь в лодке, на палубе корабля и даже на берегу. Чарлз Дарвин в своей книге "Путешествие на корабле "Бигль" упоминает о том, что однажды, идя по берегу в устье реки Уругвай в Южной Америке, он услышал громкий треск, издаваемый крупной промысловой рыбой армадо. А кряканье морского карася слышно в воздухе даже через стекло аквариума. В Средиземном море водятся двухметровые "поющие рыбы" сциены, издающие довольно мелодичные звуки. Весьма вероятно, что именно они послужили Гомеру прообразом описанных в "Одиссее" сладкоголосых морских сирен, которые своим нежным, чарующим пением заманивали проплывающих мимо них моряков.

В настоящее время в распоряжении ученых имеются очень чуткие подводные микрофоны — гидрофоны, позволяющие улавливать звуки, создающие примерно такое же давление, как и севший на руку комар. С помощью этих приборов удалось из общих неясных и беспорядочных биологических шумов в

глубинах океанов, морей и озер выделить и записать на магнитную пленку голоса, принадлежащие многим отдельным видам рыб, беспозвоночных животных и морских млекопитающих, а также "хорам", образуемым скоплениями животных одного вида. Из полученных записей смонтированы десятки тонфильмов. Они раскрывают перед нами удивительное многообразие неизвестных нам ранее звуков "разговорчивых" рыб — стучащих, свистящих, стонущих, вздыхающих, хрюкающих, квакающих, лающих, каркающих, "поющих", "звонящих в колокола" и даже "играющих на арфе". С каждым днем список этот расширяется. По разнообразию "голосов" "немые" рыбы могут, оказывается, поспорить с сухопутными животными! Вот вам и "мир безмолвия", "мир тишины"! Видимо, пришла пора старую поговорку "нем, как рыба" заменить другой — "говорлив, как рыба".

С помощью каких же средств издают звуки обитатели морей и океанов, озер и рек? Омары в состоянии испуга и раздражения с громким скрипом трут свои усики о панцирь. В море многие звуки связаны с движением жаберных крышек, хрустом сочленений скелета рыб, а также с гидродинамическими явлениями. Для каждого вида рыб характерен набор таких звуков. Так, маленькие бычки издают звуки движением тазовых костей. Гигантская луна-рыба, достигающая веса 1000 кг, выскакивая на поверхность воды, скрежещет зубами. Собака-рыба издает звуки в результате трения челюстей друг о друга. Крупные млекопитающие производят звуки своим мощным дыханием, выдувая воздух из ноздрей, щелканьем челюстей; киты производят сильный шум трением пластин китового уса.

У многих рыб для создания звуков есть специальные приспособления: особые стридуляционные органы и снабженный специальными мышцами плавательный пузырь. В частности, рыба-барабанщик извлекает звуки из своего плавательного пузыря, колотя по нему мышцей. Плавательный пузырь рыбы — тонкостенное сферическое тело, наполненное воздухом, — можно с полным основанием назвать универсальным "музыкальным инструментом". Тонкими мышцами он прикреплен к позвоночнику рыбы. Вибрации позвоночника передаются плавательному пузырю, который в этом случае выполняет роль резонатора. По пузырю можно не только бить мышцей, но и тереть ею, как смычком, — получается звук, напоминающий звук скрипки. Можно сдавить мышцами половинку плавательного пузыря, перегоняя воздух в другую "секцию". И снова возникает совсем иной звук. Особенно отчетливо звучит плавательный пузырь у полосатой зубатки. Ее четвертый позвонок служит как бы пружиной, соприкасающейся с пузырем; челюсти рыбы и

четвертый позвонок соединены сильно натянутыми мышцами, благодаря чему движение челюсти через этот привод извлекает из плавательного пузыря довольно сильные звуки. Как мы видим, "голос" рыб исходит прямо из глубины их тела, словно у чревовещателей. Чтобы передать этот голос в воду, рыбам не нужна гортань — звук проходит прямо сквозь их тело. Оно обладает почти теми же акустическими свойствами, что и окружающая вода, — ведь каждая клеточка организма рыбы наполнена жидкостью. Поэтому между телом рыбы и средой, в которой она обитает, нет той акустической границы, как между нашим телом и воздухом, нет того "зеркала", которое отражало бы звуки обратно внутрь тела рыбы. Но если рыбы и другие обитатели подводных глубин издают звуки, естественно, возникает вопрос: слышат ли они их? Вокруг этого вопроса еще совсем недавно, в первой половине нашего века, между исследователями шла довольно острая дискуссия. Между тем любители-рыболовы уже давно подметили, что некоторых рыб можно приманить звуками — хлопанье по воде деревянной "колотушкой" создает звуки, похожие на кваканье лягушек, до которых большие охотники сомы; звуки от ударов по жестянке, колокольчику или крючку-якорьку хорошо приманивают налима; жужжащая приманка успешно привлекает лососевых рыб; сомы и крупные щуки утятницы охотятся за водоплавающей птицей, крики которой, видимо, немало помогают им в такой охоте.

Помимо этих фактов, убедительно свидетельствующих о том, что рыбы обладают слухом, были получены также данные специальных исследований. В частности, был поставлен такой опыт. Морских петухов и некоторых других рыб подвергли экспериментам, аналогичным тем, которые в свое время ставил академик И. П. Павлов над собаками. Кормление рыб в течение долгого времени сопровождалось определенным звуком. Впоследствии, заслышав привычный звук, рыбы тотчас же бросались к тому месту аквариума, где их обычно кормили, хотя никакой пищи при этом в аквариум не бросали. В аквариумах не раз наблюдали случаи, когда молодой тюлень, разлученный с матерью, или морские коньки обменивались между собой звуками. Казалось, будто они разговаривают друг с другом. Известно, что два сомика в аквариуме отзывались на клички Адам и Ева. Наконец, интересные опыты были проведены летом 1952 г. в Красном море экспедицией итальянца Фолько Квиличи. Долго оставалась загадочной одна повадка акул: как умудряются они уже через несколько секунд появляться в том месте, где находится убитая рыба? Они не могли увидеть ее на большом расстоянии, так как прозрачность воды там очень незначительна.

Не могли они и "почуять" запах крови, ибо он не так быстро распространяется в воде. Оставалось одно — предположить, что акулы слышат "стоны" раненых рыб. И вскоре ученые убедились в правильности своей догадки. Один из участников подводной экспедиции, находясь на глубине 12 м, неожиданно заметил направляющуюся к нему шестерку крупных рыб — тунцов, каждая весом по полцентнера. Чтобы отразить нападение, он поднял оружие. Резкая смена позы, по-видимому, испугала рыб — они подскочили, повернулись и стали удаляться так, как это сделали бы на их месте раненые рыбы. Несколько мгновений спустя на месте происшествия оказались три акулы. Стало ясно, что они услышали "крик" испугавшихся тунцов.

Итак, следует считать доказанным, что многие, а может быть, и все виды морских животных, в том числе и рыбы, обладают слухом. Рыбы превосходно слышат с помощью внутренних ушей, расположенных вблизи мозга; звуки, издаваемые в воде, беспрепятственно достигают этих центров и там воспринимаются чувствительными механизмами, которые можно сравнить с самыми совершенными слуховыми рецепторами человека.

Один из интереснейших вопросов биоакустики рыб — это их способность определять направление на источник звука. Дело в том, что почти все виды рыб и других обитателей подводных глубин хорошо видят только на сравнительно небольших расстояниях вследствие значительного поглощения и рассеяния света водой. А если учесть, что во многих водоемах вода совершенно мутная и там живет немало разных рыб, питающихся другими подводными обитателями, то делается очевидным, что в обычных условиях и тем более в условиях плохой видимости рыбам при охоте на зрение рассчитывать не приходится: оно может помочь лишь в уточнении местонахождения добычи, но выходить к ней они должны в основном по слуху. Однако у рыб слишком мало расстояние между двумя слуховыми органами, а в этом случае очень трудно определить направление на звук. Но если существующую теорию бинаурального слуха[16], объясняющую способность определять направление звука, к рыбам отнести нельзя, то как же они с большой точностью улавливают направление звуков и шумов, создаваемых в воде организмами, за которыми они охотятся? Были поставлены опыты с ослепленной щукой: в аквариуме она безошибочно точно хватала двигавшуюся мелкую рыбку, но не трогала ее, когда рыбка не двигалась. Многочисленные эксперименты привели ученых к следующей гипотезе: в восприятии направления звука у рыб участвуют, помимо слуховых органов, также и органы системы боковой линии. Однако на сей счет нет единого мнения,

и давно ведущаяся дискуссия по этому вопросу продолжается. По-видимому, рыбы воспринимают направление звука всем организмом и, в частности, как установил советский физиолог Ю. П. Фролов, слизистыми боковыми линиями, которые проходят по их телу от головы до хвоста.

Опыты доктора Кликркопера и его коллег с речным головлем показали следующее. "Если у этой рыбы хирургическим путем удалить внутренние уши, она будет вести себя нормально и воспринимать звуки с частотой от 20 до 200 гц; значит, у нее есть запасная слуховая система. Эту остаточную чувствительность к звуковым колебаниям можно уничтожить, если перерезать нервы, идущие к специальным чувствительным органам боковой линии, которая проходит вдоль тела рыбы с обеих сторон. Рыба останется "глухой", пока нерв не регенерирует, но она уже никогда не сможет слышать звуки с частотой выше 200 или ниже 20 гц, т. е. в тех диапазонах, которые воспринимало ее внутреннее ухо. Многие другие рыбы тоже имеют два типа чувствительных органов, воспринимающих колебания воды вокруг них. Органами боковой линии они улавливают низкие звуки, а внутренним ухом — в основном высокие".

Способность рыб и других жителей царства Нептуна издавать звуки и улавливать их в воде играет первостепенную роль в их жизни. Обитатели озер, рек, морей и океанов никогда не издают звуков "просто так", все эти звуки связаны с их поведением. Подобно тому, как наземные животные рычат, лают, кричат или визжат, большинство водных животных также издает звуки только в тех случаях, когда есть к тому какая-нибудь причина. В аквариумах рыб подвергали многим неприятным испытаниям. Их дразнили, кололи, толкали, подвергали действию электрического тока, лишали пищи, пугали резкими звуками и шумами. При этом было совершенно отчетливо установлено, что многие рыбы реагируют на внешние раздражения скрежетом зубов, треском, своеобразным рычанием.

Язык подводных глубин — особое средство связи, средство общения между собой многочисленных обитателей водоемов. Так, из анализа записей нескольких отчетливых разновидностей звуков, издаваемых тюленями Уэделла — единственными млекопитающими, живущими в Антарктиде, создается впечатление, что они "разговаривают" друг с другом. Когда животное сильно возбуждено, оно щелкает зубами. Издаваемый при этом звук означает сигнал тревоги. Как предупреждение или угроза звучит пыхтение или мычание. Еще один вид тюленьего разговора — мелодичный, похожий на птичьи трели звук; начавшись на очень высокой ноте, он заканчивается совсем

низким "дых!". В момент, когда тюлень находится у дыхательной лунки во льду, он издает звук, который означает: "Видите лунку? Она моя". Рыбы довольно широко пользуются характерными звуками, издаваемыми в связи с актами агрессии и обороны. В частности, наблюдениями В. Р. Протасова установлено, что когда судак отгоняет врагов от гнезда с икрой, он принимает определенную позу и издает угрожающие звуки. Низкое рычание издает обитающий в Азовском море бычок, когда он строит гнездо. Заслышав этот рык, никакой другой бычок не осмелится вторгнуться во владения своего соплеменника. Но когда строительство жилища закончено, на смену низкому рычанию приходит высокий звук — призыв самок. Записав эти звуки на магнитную ленту, ученые воспроизвели их в воде. Приплыло немало "бычих". Некоторые звуки рыб служат сигналом для объединения в стаи, другие — предупреждением об опасности. Разнообразные звуки издают рыбы также при различных формах нерестового поведения и при взаимоотношениях между полами. В период спаривания рыб сначала слышатся отдельные зовущие голоса, затем голоса сливаются в общий громкий хор и наконец постепенно затихают, когда период нереста проходит. "Подводный лексикон" рыб известен еще очень плохо. Так, например, до последнего времени считалось, что морские звезды совершенно "бессловесны". Но вот недавно в аквариум, где они находились, научные сотрудники Тихоокеанского отделения Института океанологии АН СССР пустили крабов, которые не прочь полакомиться звездами. Действительно, скоро самый большой краб напал на звезду и откусил у нее два луча. И тут ученые стали свидетелями необычайного явления: по неизвестному пока сигналу морские звезды стали собираться в одном месте, причем большие звезды закрыли маленьких, защищая их от страшных клешней. Ученые продолжают опыты, чтобы больше узнать о "языке" звезд. В последнее время группе сотрудников Института морфологии животных АН СССР, руководимой профессором Б. П. Мантейфелем, удалось установить, что рыбы общаются друг с другом не только при помощи звуков, но и посредством характерных поз и движений. Оказывается, что в этих движениях и позах закодированы сигналы угрозы, обороны, зов молодняка и др. "Лексикон" рыб расширяется во время нереста.

Вероятно, нас ждет еще немало удивительных открытий, касающихся способов и средств биологической связи у рыб и других водных животных, но и то, что нам уже известно о подводном "лексиконе", об акустических особенностях водной среды[17], позволяет (при соответствующем использовании

современных возможностей электронной техники) по-новому подойти к решению ряда давно назревших весьма важных для человечества проблем, связанных с использованием пищевых ресурсов Мирового океана.

Известно, например, что со времени второй мировой войны улов в море удвоился (с 25 до 50 миллионов тонн в год). Однако, несмотря на такой рост рыбного промысла, часто можно слышать, что современное рыболовство в морях и океанах недалеко ушло от первобытной охоты. И действительно, места большого скопления рыбы составляют не более 0,1 % от общей площади моря. Поэтому нередко промысел рыбы в море похож сейчас на поиск иголки в стоге сена. Между тем, учитывая рост населения Земли, ученые подсчитали, что в ближайшие 20 — 25 лет мировой улов рыбы нужно будет снова удвоить. Вот тут-то на помощь рыбакам и могут прийти данные о биоакустике рыб. Говоря словами члена-корреспондента Академии наук СССР Л. Бреховских, "нынешним рыбакам — охотникам за рыбами — в недалеком будущем придется переквалифицироваться в пастухов. Они будут как бы играть на дудочках, имитируя звуки, издаваемые рыбами при кормлении. Это не метафора. Особые акустические устройства позволят рыбакам созывать в свои сети огромные стада рыб".

Звуковые приманки уже начали находить практическое применение в промысловом рыболовстве. Так, на советском тунцеловном судне "Нора" запускают дождевальную установку и направляют ее струи на море вблизи судна, когда оно находится в полосе движения стаи тунцов. Звук падающих капель этого искусственного дождя имитирует звуки, производимые выбрасывающимися из воды мелкими рыбками, а падение капель — колебания воды, создаваемые движущейся стайкой. Привлеченные этим тунцы стремительно бросаются к месту падения капель искусственного дождя, где их ждут крючки тунцеловных удочек. Аналогичные приемы используют на рыболовных судах и при ловле крупной паламиды — бионитов.

Все это — лишь начало. В будущем биоакустике предстоит коренным образом изменить промысел не только рыб, но и китообразных. Сейчас успешный промысел китов во многом зависит от искусства и в значительной степени от "везения" команды китобоев. Влияние последнего фактора будет сведено к минимуму, когда на китобойных флотилиях появятся специалисты по "языкам" китообразных. Прослушивая океан с помощью соответствующей аппаратуры, они будут своевременно информировать команды быстроходных китобойных судов о местонахождении и передвижении этих животных. Доктор

биологических наук А. Г. Томилин, длительное время занимавшийся бионическими исследованиями китообразных, предложил подманивать китов к китобойным судам и орудиям лова посредством воспроизведения записанных на магнитную ленту особых звуковых сигналов этих животных о помощи. Такие сигналы издают обычно обессилевшие или больные китообразные, которым угрожает удушье в воде. Другие особи того же вида, услышав подобные сигналы, по установленному природой закону взаимопомощи, немедленно, не обращая внимания на опасность, подплывают к попавшему в беду животному и интенсивно выталкивают его из воды. Для эффективного использования этого нового способа китобойного промысла нужно стремиться к тому, чтобы у подманиваемых животных "работало" наименьшее количество анализаторов. Выше уже отмечалось, что в воде животные видят только на коротком расстоянии, следовательно, они могут заметить опасность лишь при подходе к орудиям лова. Но поскольку у водных животных преобладает система звуковых восприятий, выполнение поставленной задачи значительно упрощается.

Научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института морского рыбного хозяйства и океанографии В. Г. Ажажа предлагает ловить в больших количествах акул, всасывая их шлангом большого диаметра, в раструбе которого установлена акустическая приманка — ультразвуковой излучатель. На эту мысль его натолкнуло такое происшествие. Зимой 1957 г., когда большие советские траулеры "Северное сияние" и "Витебск" вели поиск сельди в Норвежском море, поисковые приборы — рыболокаторы — были парализованы в течение четырех дней. Из динамика в это время вместо нормальных ритмичных звуков доносились преобразованные из неслышимых ультразвуков мяуканье, хрюканье, щелканье, скрежет и даже залихватский свист. Оказывается, это акулы большими стаями собрались на своеобразный "митинг" к излучателю.

Океаны и моря — исключительно благоприятные среды для развития разнообразных живых существ. Сегодня существуют сотни тысяч видов самых различных морских организмов — от микроскопических радиолярий до исполинских китов, самых больших животных, которые когда-либо обитали на нашей планете. Между этими полюсами располагается целое царство животных, скованное системой взаимопожирания. Каждое животное — одновременно охотник и жертва, и его жизнь проходит в неумолимом преследовании добычи и отчаянном бегстве от врагов. Но если мы действительно хотим сделать своей житницей Мировой океан, нельзя оставаться пассивными

наблюдателями происходящего в подводных глубинах. Нам необходимо организовать попородный вылов так, чтобы создать в морях и океанах преобладание наиболее ценных видов над наименее ценными. Мы должны уметь контролировать численность хищников и сорной рыбы, которая конкурирует с ценными видами за пищу. И здесь снова нам может оказать неоценимую услугу биоакустика рыб. Добытые учеными знания о "подводном лексиконе" позволят создать особые рыбопеленгаторы, при помощи которых можно будет не только определять местонахождение косяков, но и численность в них рыбы и ее сорта. А когда-нибудь в будущем, пользуясь достигнутыми успехами биоакустики и электроники, человек, вероятно, возьмет на себя управление поведением рыб и других водных животных, воздействуя на них различными звуками. Научившись активно вмешиваться в деятельность обитателей морей и океанов, мы сможем направлять ее на благо человечества. Если говорить о ближайших перспективах, то биоакустика рыб открывает широкие возможности в решении следующей проблемы. Большинство рек ныне перекрыто большими плотинами гидроэлектростанций. Плотины загораживают рыбе дорогу к местам нереста. Рыбоподъемники, устроенные на больших гидроузлах, не назовешь эффективными: слишком много мигрирующей рыбы гибнет ежегодно у плотин. Этого можно избежать, доступно объяснив рыбе на ее "языке", куда следует и куда нельзя плыть. Над решением этой задачи сейчас работает ряд ученых. Вероятно, в скором времени с рыбой будут "разговаривать" через специальные динамики, установленные перед гидроузлом. Ультразвуковые генераторы будут вести "передачи" одновременно на нескольких "языках", понятных для всех видов идущей на нерест рыбы. "Живое общение" поможет сохранить рыбные стада наших рек.

Итак, изучение "языка" животных сегодня является одной из важнейших, наиболее актуальных проблем бионики. Познание средств общения в органическом мире открывает широчайшие возможности для технического моделирования биологических сигналов и их использования для управления поведением как полезных, так и вредных для нас животных.

А вот еще один интересный аспект проблемы изучения "языка" животных, и опять-таки тех, которые обитают в царстве Нептуна.

Люди еще в глубокой древности мысленно заселили разумными существами Луну и даже Солнце. Изобретательные фантасты в наше время пошли дальше. Они населили звездные миры самыми невероятными формами мыслящей материи и

описывают в своих романах контакты и встречи с инопланетными существами как событие неизбежное и вполне реальное в наш космический век. А наука? Материалистическая философия, современные биохимия и астрофизика считают, что если не в пределах солнечной системы, то где-то в необъятных просторах вселенной могут существовать внеземные цивилизации. По некоторым подсчетам ученых, в видимой вселенной имеется по крайней мере 10 миллионов похожих на Землю планет и на некоторых жизнь либо ушла не так далеко, либо намного обогнала земной уровень! А коль это так, то насущной становится задача установить контакт и обмениваться информацией с разумными существами или другими мыслящими системами, обитающими на неизвестных нам планетах. Это самое смелое предприятие из всех, какие когда-либо задумывались человеком, и сегодня оно многим может показаться пределом фантастики. Однако оно уже овладело умами многих ученых, в том числе и некоторых бионików. Постепенно в обиход науки входят слова "внеземные цивилизации", "межзвездная связь", "космическая лингвистика". Все это пока еще плохо укладывается в нашем сознании, ибо широта проблемы и ее трудности, масштабы времени и пространства необозримы. Однако, разумеется, не в одних масштабах дело. Нам приходится преодолевать инерцию нашего мышления, мы вынуждены отказаться от представления, что все обязательно должно быть устроено по земному образцу, привыкать к тому, что, возможно, придется встретиться с абсолютно необычными формами жизни, с явлениями, которые пока нельзя даже себе представить. А пока мы лишь свыкаемся с проблемой, которую сейчас нередко называют "проблемой века", начинаем понимать ее актуальность. Некоторые зарубежные ученые, занимающиеся изысканием принципов построения общекосмического языка, в последнее время пришли к неожиданному заключению: ключом к расшифровке языков обитателей других планет может стать... "дельфиний язык". Именно с его всестороннего изучения, по их мнению, следует начинать решение такой сложной и такой исключительно важной задачи, как установление будущего контакта с цивилизациями других миров. Чем же объяснить, что в задаче установления речевого контакта с человеком ученые возлагают столь большие надежды именно на дельфинов? На чем зиждется глубокая убежденность ряда бионików, что изучение "языка" дельфинов поможет людям вступить в общение с обитателями других планет? И наконец, чем руководствовался известный исследователь морских животных Джон Лилли, когда сравнительно недавно заявил: "Я абсолютно убежден, что через 20

лет люди смогут разговаривать с другими существами. Возможно, они придут к нам с другой планеты, а возможно, окажутся обитателями нашей Земли. В последнем случае я готов держать пари, что это будет дельфин!"?

Ученые предполагают, что дельфины ведут свое происхождение от каких-то наземных млекопитающих, хотя их самые дальние предки, как и наши, вышли из океана. Приспособившись к жизни на суше, предки дельфинов затем в силу неизвестных причин вынуждены были сменить наземное существование на водное. Это случилось около 50 000 000 лет назад. Как выглядели "сухопутные дельфины", никто сегодня сказать не может, так как "потерянное звено" в эволюции дельфинов бесследно исчезло в океанских глубинах. В процессе повторного приспособления к жизни в водной среде тело наземного млекопитающего вытянулось и заострилось, а конечности почти исчезли: память о них сохранилась лишь в виде пальцевых фаланг в ластах дельфинов. Нос превратился в дыхало, т. е. в большую "ноздрю" размером примерно в двадцатикопеечную монету с впускным и выпускным клапанами. В остальном дельфины схожи с нами по своей анатомии и физиологии. Они дышат легкими, а не жабрами, как рыбы. Это — теплокровные млекопитающие, как и люди. В отношении разума дельфинов научный мир разделился на два лагеря: одни считают, что дельфины обладают разумом, другие с этим не согласны. Некоторые полагают, что длиннорылый дельфин — просто сообразительное животное и ничего более. Но есть и другие, считающие дельфинов такими же по-своему разумными существами, как и люди. К ним, в частности, относится доктор Лилли, которого длиннорылый дельфин поразил объемом своего мозга, разумом и явной способностью к взаимодействию.

Мозг дельфина больше и в определенном отношении сложнее человеческого и значительно превосходит обезьяний мозг. У дельфинов длиной от 1,75 до 2,25 м вес мозга колеблется от 1175 до 1707 г. Мозг шимпанзе весит всего лишь 375 г, мозг человека — 1400 г. Разумеется, по одному лишь весу мозга нельзя судить об интеллекте живого существа. К приведенным данным надо относиться очень осторожно, так как они характеризуют только морфологический аспект вопроса.

Чем же все-таки отличается мозг дельфина от мозга человека, так ли он "хорош", как и человеческий? На этот вопрос дал ответ Питер Морган, коллега доктора Лилли, после того, как он с группой ученых провел в Гарвардском медицинском училище исследования мозга шести длиннорылых дельфинов. Вот что он ответил.

"...Хорош — это не очень четкий термин. Существуют определенные нормы, по которым мы оцениваем качество мозга. По многим из этих "норм" дельфины весьма успешно соперничают с человеком. Возьмем, например, кору головного мозга, т. е. часть мозга, несущую функции памяти и мышления. Чтобы охарактеризовать ее "качество", можно, например, спросить, насколько сложны извилины. Кора головного мозга дельфина насчитывает по крайней мере вдвое больше складок, или извилин, чем кора мозга человека.

Или же можно задать вопрос: а сколько клеток насчитывается в различных частях коры головного мозга?

У дельфина их примерно вдвое больше, чем у человека. Другим критерием служит то, что мы называем "сложностью" коры головного мозга. У крысы или кролика имеется 4 клеточных слоя на различных участках коры, у человека и обезьяны их 6, такое же число и у дельфинов".

Итак, дельфин обладает большим, сложным и высокоразвитым мозгом. Означает ли это наличие разума? Для ответа на этот вопрос ученые ряда стран ставят многочисленные опыты.

Ярвис Бастиан, психолог из Калифорнийского университета, учил двух длиннорылых дельфинов Буза, самца, и Дорис, самку, сложной игре. Перед каждым из них под водой были укреплены по два рычага: один справа, другой слева. Бастиан давал животным сигнал с помощью автомобильной фары: длительное свечение означало приказ: "Нажми правый рычаг", тогда как молниеносная вспышка требовала нажатия левого. Дельфины нажимали на рычаг клювом. Оба дельфина быстро уяснили разницу между длительным световым сигналом и вспышкой, между правой и левой сторонами.

Затем Бастиан усложнил упражнение. Когда включали свет, Дорис должна была ждать. Если она устремлялась за наградой первой, она не получала рыбы. И лишь после того, как Буз нажимал на свой рычаг, наступала ее очередь. И снова дельфины успешно справлялись с заданием. Наконец, последнее упражнение. Бастиан разделил дельфинов, установив в бассейне перегородку между ними. Они могли слышать друг друга под водой, но лишь Дорис была видна фара. Когда Бастиан включал свет, Дорис располагалась перед своими рычагами и вежливо ожидала, как ее учили. В то же время она разражалась потоком

звуков — и каким-то образом, не видя подругу за перегородкой, Буз узнавал, какой рычаг он должен нажать. Подсказывала ли она ему? Или же он догадывался по каким-то трудноуловимым признакам, ускользавшим от Бастиана. Если верно второе предположение, то Буз, несомненно, отличался исключительной сообразительностью, так как, по утверждению экспериментатора, он в десятках случаев действовал безошибочно.

Не менее интересный эксперимент был поставлен в лаборатории Джона Лилли[18]. Специальный электрод, по которому поступает слабый электрический ток, вводился в определенные участки мозга обезьяны и дельфина. Поступление сигнала вызывало у животных ощущение удовольствия, для этого нужно было только нажать кнопку прибора. Если обезьяны улавливали связь между нажатием кнопки и удовольствием примерно через 20 сеансов, то дельфины понимали это тотчас же или после одной-двух попыток!

Выходит, что дельфины во много раз сообразительнее нашего предка — обезьяны и, видимо, не только обезьяны. Зоолог Портман сопоставил умственные способности отдельных представителей живого мира. Он составил условную шкалу, исходя из результатов исследований различных участков мозга, заведующих теми или иными функциями организма и регулирующих физиологические процессы. Что же получилось? Конечно, высший балл, наибольшее число пунктов оказалось у нас с вами — 215. А следующий... кто бы, вы думали? — дельфин — 190 пунктов. Он совсем немного отстал от человека. Дальше идет одно из крупнейших травоядных — слон — 150 пунктов; у самого ближайшего нашего родича, обезьяны, число пунктов равно лишь 63, у зебры — 42, у жирафы — 38, у лисицы — всего 28 (вот тебе и "самый хитрый зверь"! — еще один пример "дутой" репутации). Самым "глупым" оказался гиппопотам — 18 пунктов.

Итак, из приведенных данных явствует, что интеллект "интеллигентов моря" (так теперь часто называют длиннорылых дельфинов) значительно выше, чем у слона, обезьяны и, вероятно, чем у собак (к сожалению, Портман не опубликовал данных о собаке), которых до последнего времени было принято считать самыми "умными" животными. На основании кропотливого изучения в течение последних 15 — 20 лет поведения дельфинов Лилли, опираясь на факты, добытые при исследовании умственных способностей этих животных, приходит к следующим выводам: "Мы должны пытаться выделять их (дельфинов) из той категории животных, к которой мы относим шимпанзе, кошку, собаку и крысу. Вероятно, их умственное развитие сравнимо с нашим, хотя чрезвычайно своеобразно". По-видимому, Лилли, как

и всякий одержимый новой идеей ученый, несколько увлекается, ставя сегодня, когда многое еще не выяснено, знак равенства между умственным развитием дельфина и человека (кап думается, правильнее было бы сказать, что дельфин находиться как раз на граня, отделяющей животный мир от человека). Однако ученый уверяет, что "интеллигенты моря" обладают изумительным музыкальным слухом, которому многие могли бы позавидовать, великолепной памятью, способны запомнить и воспроизвести обращенные к ним слова, умеют петь хором, безошибочно повинуясь взмахам дирижерской палочки, а главное — у них имеется свой, весьма оригинальный, довольно сложный "язык". Этим "языком" — кодом владеют все дельфины, обитающие в водах Мирового океана, с его помощью они общаются между собой и отлично понимают друг Друга на всех широтах.

Длительное время почти все биологи очень сдержанно относились к подобным заявлениям американского ученого, однако многочисленные звукозаписи и приложенные к ним спектрограммы голосов дельфинов, сделанные с помощью специальной высокосовершенной аппаратуры, бесспорно подтвердили достоверность ряда ранее казавшихся невероятными "разговорных" способностей дельфинов.

Лучше всего учеными изучены голоса представителей подотряда зубатых китов, хорошо уживающихся в неволе, — афалин, гринд и белух. Например, в американских океанариумах записано шесть типов звуков, издаваемых афалинами; среди них преобладают свисты частотой от 7 до 18 кгц; пересвистывались дельфины, как было замечено, в состоянии возбуждения при быстром плавании стаей. При преследовании добычи они издавали лай, при кормлении мяукали, для отпугивания и устрашения своих сородичей они, двигая челюстями, испускали звуки, напоминающие хлопки, во время спаривания самцы взвизгивали, хныкали либо жалобно выли. При появлении незнакомых предметов вблизи животных звукозаписывающая аппаратура фиксировала издаваемый дельфинами скрежет или частое щелканье частотой от 20 до 170 кгц, напоминающее скрип двери на ржавых петлях. В результате дальнейших исследований "вокальный репертуар" афалины пополнился кваканьем, кряканьем, пронзительным криком. До последнего времени считалось, что дельфины не издают криков, выражающих радость, страдание или страх.

Между тем ученые совсем недавно открыли сигнал тревоги, издаваемый афалиной при испуге. Его нельзя услышать в воздухе, но он отчетливо слышен в гидрофон и похож на резкий треск,

легко заглушающий прочие звуки дельфинов.

Другой "вокально одаренный" вид — гринда — в неволе издает во время возбуждения свист высокого тона, звуки, напоминающие хлопки, щелканье и скрип; последний производится только под водой, и его можно услышать лишь в гидрофон. Звуки, похожие на продолжительную отрыжку, гринда издает на поверхности воды, и в это время у нее заметно шевелятся края дыхала.

Все звуки, испускаемые дельфинами, нейрофизиологи Джон Лилли и Элис Миллер объединили в три класса: 1) свисты частотой от 4 до 18 — 20 кгц, 2) локационные (ультразвуковые) щелчки (частотой до 170 кгц) и 3) комплексные волны высокой амплитуды, воспринимаемые как кряканье, мяуканье, лай, жужжанье, вой, стоны и т. д.

Разнохарактерные сигналы третьего класса названы по аналогии с сигналами других животных — лай, вой, мяуканье и т. д. Они представляют собой неультразвуковые щелчки и длятся от десятых долей до нескольких целых секунд. Короткие и отрывистые щелчки называют лаем, более продолжительные — мяуканьем, еще более длительные — жужжаньем и, наконец, воем. Уже одно описание перечисленных звуков указывает на сложность, многообразие и комплексность сигналов третьего класса. Более того, Лилли и Миллер установили, что один и тот же дельфин способен издавать акустические колебания двух или даже всех трех классов одновременно (рис. 2). Американским ученым удалось записать короткие звуковые импульсы 8 полудиких дельфинов, помещенных в большой аквариум; эти звуки издавались животными при кормлении, играх, свободном плавании. За 4 часа удалось зарегистрировать 1100 свистов 18 оттенков. Таким образом, возможных комбинаций сигналов оказывается чрезвычайно много, что, естественно, сильно усложняет их изучение.

Итак, как мы видим, звуки, издаваемые дельфинами, весьма разнообразны. Невольно возникают вопросы: для чего и при каких обстоятельствах используют свои звуковые сигналы дельфины? каково при этом их поведение, каковы ответные реакции сородичей на эти сигналы?

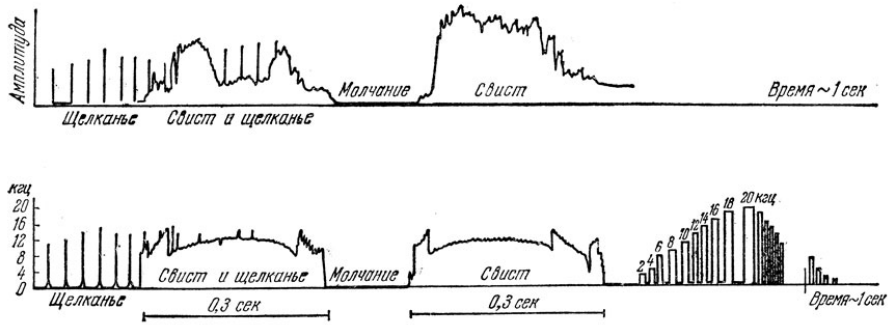


Рис. 2. Запись щелканий и двух свистов афалины

Эти вопросы изучались в океанариумах, оснащенных совершенной аппаратурой, методом условных рефлексов. На основании проведенных исследований американские ученые уже создали целый "дельфиний словарь". Кроме того, они попытались даже определить синтаксис "языка" дельфинов. Правда, некоторые исследователи считают, что это еще рано делать, так как в "языке" "интеллигентов моря" еще очень и очень многое остается неизученным и пока еще неизвестным. Но все же кое-что в "речевом" общении дельфинов уже начинает проясняться. Ученые записали и расшифровали 32 звука, которыми обмениваются дельфины; каждый из этих звуков имеет совершенно определенное значение. Когда дельфин желает, например, найти своих сородичей или родителей, он не мечется, не озирается по сторонам, а прежде всего слушает сам и подает соответствующий сигнал. В разной обстановке и при различных обстоятельствах животные, как правило, используют разнотипные сигналы. Свист (писк) частотой от 7 до 18 кгц служит дельфинам сигналом для сбора и поддержания стайности. Детеныши сразу же после рождения реагируют на свистящий призыв самки и сами начинают пользоваться таким сигналом. (Однажды во флоридском океанариуме самку и детеныша разъединили воротами канала, связывающего два бассейна. Немедленно по обе стороны ворот раздался настойчивый свист, продолжавшийся до тех пор, пока мать и детеныша не соединили вновь.) В сезон гона самец визгливым лаем призывает самок. Близок к лаю, но имеет совсем другое значение сигнал угрозы, похожий на хлопок в ладоши и сопровождающийся быстрым открыванием и закрыванием пасти (жест укуса). Существует у дельфинов и сигнал боли. Он издается при сильных болевых ощущениях — это необычайно громкие звуки, производимые при закрытой пасти и напоминающие отрывистый визг поросенка. И наконец, среди всех акустических сигналов дельфинов выделяется один

"чудодейственный" сигнал, который заставляет забывать о собственной безопасности, бросать все и мчаться с максимальной скоростью к месту, откуда идет призыв о помощи. Это сигнал бедствия, или своеобразный зов, издаваемый животным, которому грозит опасность задохнуться под водой. У афалины сигнал бедствия слышится в гидрофон как пара продолжительных разнородных свистов, произносимых слитно и повторяющихся через разные интервалы до тех пор, пока не подоспеет помощь. Первый свист из пары — постепенно нарастающий и усиливающийся звук, второй — постепенно ослабевающий звук, начинающийся максимально громко и медленно замирающий.

Наблюдениями ученых установлено, что одинокий дельфин обычно предельно молчалив; два дельфина оживленно обмениваются сигналами (в "обменный репертуар" входят свисты, редкие щелчки, "монологи" из совокупности свистов и щелчков, пронзительный крик, кряканье, одновременно издаваемые свисты и кряканье и т. п.); в большом же обществе дельфины болтают без умолку. "Оживленный разговор" ведется на ультразвуковых частотах (до 120 — 170 кгц), не воспринимаемых ухом человека. Мы способны слышать только самые низкие звуки, но когда животные замечают это, то стараются "говорить" так, чтобы не выходить за пределы слышимости. "Речи" дельфинов присуща еще одна интересная особенность: она напоминает мелодекламацию.

Недавно дельфинов научили пользоваться одним из самых распространенных современных средств технической связи. Изучая, каким способом "интеллигенты моря" общаются друг с другом, экспериментаторы предоставили дельфинам Флориды и Гавайских островов возможность поговорить по телефону, вернее, по гидрофону. Для этого были сконструированы подводный микрофон, усилитель и приемный аппарат. Дельфин, находящийся в бассейне, всовывал свой клюв в специальный раструб гидрофона и говорил, а его сородич слушал и отвечал. Так на расстоянии около 8000 км дельфины мило болтали друг с другом на своем языке, не удивляясь необычной технике. Опыты показали, что дельфины Атлантического и Тихого океанов "говорят" на одном языке.

Среди многочисленных талантов, которыми природа так щедро наделила дельфинов, исключительно большой интерес для науки представляет сегодня их феноменальная способность к звукоподражанию. Подражательные (гоминидные) звуки в лексиконе "интеллигентов моря" впервые были открыты Джоном Лилли и Элис Миллер. Произошло это совершенно случайно. Однажды во время проведения серии опытов с дельфинами (когда с помощью специальных электродов определенные участки мозга

раздражали слабыми электрическими сигналами) вышел из строя прибор, вызывавший у афалины ощущение удовольствия, но магнитофон, включавшийся обычно при выполнении экспериментов, продолжал работать, и на пленке оказались записанными все звуки, издаваемые дельфином во время опытов и после поломки прибора. Когда прослушали запись, выяснилось, что "речь" дельфина похожа на карикатурную копию слов, сказанных Лилли своей секретарше. Фонограммы убедительно показали действительное сходство между словом, сказанным человеком, и "словом", повторенным дельфином. Отчетливо слышны были также жужжание трансформатора, шум киносъемочной камеры, т. е. все те звуки, которые дельфину довелось слышать во время опытов. По-видимому, животное ассоциировало эти звуки с удовольствием, получаемым во время работы сломавшегося аппарата, и, подражая им, "заклинало" исследователей включить прибор. Вначале экспериментаторы приняли все это за типичный случай игры звуками и словами, как, например, у попугаев. Но затем было установлено, что если дрессировщик ежедневно громко разговаривает вблизи подопытного дельфина, то издаваемые последним звуки постепенно приобретают сходство с человеческой речью. Это подтвердили запись звуков на магнитофонной ленте и сравнение фонограмм голосов дельфина и человека. Человек произносил слова на частотах 400 — 3000 гц, а дельфин воспроизводил их на частотах 1000 — 8000 гц. Если магнитофонную ленту с "голосом" дельфина, имитировавшим голос человека, прослушивали при скорости, в 2 — 4 раза меньшей скорости записи, то достигали поразительного сходства в звучании голосов дельфина и человека.

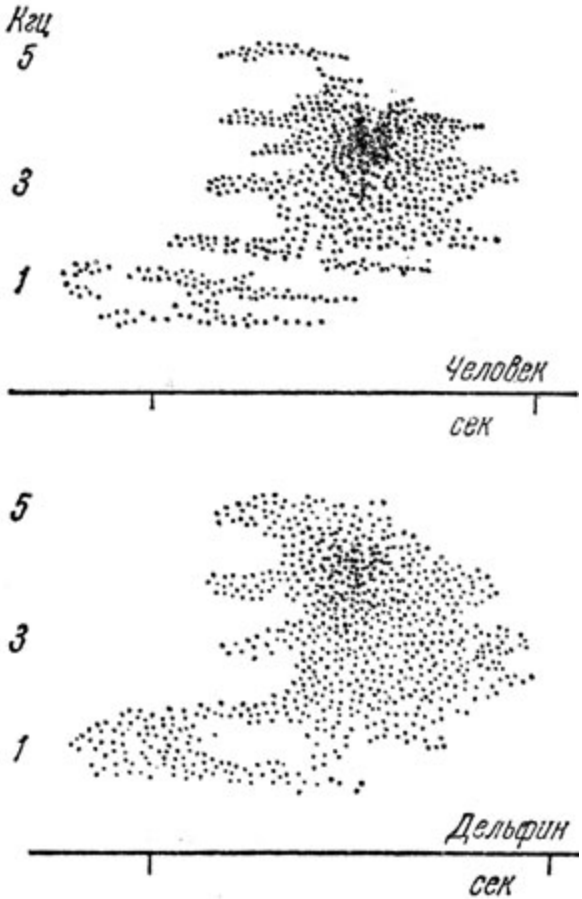


Рис. 3. Запись звуков человека и афалины (по Дж. Лилли). Дж. Лилли произнес: 'Бай-бай', дельфин ответил: ',Бабаий'. Запись продолжалась 1,2 сек, частоты 200 — 4500 гц

Обнаружив у дельфинов подражательные способности в воспроизведении звуков, Лилли в своих дальнейших исследованиях центральной задачей поставил выяснение вопроса о возможности речевого, словесного общения между дельфином и человеком на любом языке — английском или дельфиньем. Лилли и его коллеги тщательно изучали разные классы звуков на четырех афалинах в течение полугода ежедневно и на десяти других афалинах, находившихся под непрерывным наблюдением от 1 до 6 суток. Самые продолжительные и удачные опыты были проведены с наиболее "образованным" дельфином Элваром. Вначале его держали в одиночестве и он общался только с одним дрессировщиком. Дрессировщик говорил громко, чтобы звуки проникали под поверхность воды. Естественные способности к имитации позволили Элвару уже в самом начале учебы

отличиться: он вполне внятно сказал дрессировщику по-английски: "Отлично, начнем!" За 15 месяцев Элвар научился воспроизводить звуки, подобные человеческой речи, и в воде и на воздухе, в том числе гласные, взрывные и свистящие элементы речи. Частоты этих звуков у афалины были выше, чем у взрослых мужчин или женщин, и скорее напоминали голос ребенка — вначале его болтовню, а потом и отдельные слова. "Наиболее отчетливо, — пишет Лилли, — я слышал следующие слова и фразы, "скопированные" в чрезвычайно высокой тональности и сжато: "three — two — three" ("три — два — три"), "tee ar pee" ("ти — ар — пи")[19], и множество других, менее четких, но так сильно приближающихся к человеческой речи по ритму, дикции и фонетическому составу, что это казалось сверх естественным". Однажды Элис Миллер, обрызганная водой, крикнула Элвару: "Stop it!" ("стоп ит" — прекратиэто).

Прошло несколько секунд, и в воздухе явственно раздалось: "Стоп ит". В другой раз экспериментатор сказал: "Бай-бай", а в ответ услышал (и записал на ленте) более тонкий звук: "Бабаий" (рис. 3). Научился Элвар также "произносить" числа. Лилли обнаружил, что если он, например, называл шестизначное число, дельфин, хотя он иногда и неправильно произносил отдельные звуки, почти всегда "выговаривал" шесть слогов. Лилли провел длинную серию Опытов с этим упражнением, произнося числа, содержащие от одного до десяти знаков, и более чем в 90% случаев Элвар действовал безошибочно!

Любопытно, что когда после Элис Миллер Элвара стал обучать английскому языку Джон Лилли, дельфин "учел" более грубый голос нового дрессировщика и понизил нижние частоты в "своих словах" с 1000 до 450, а затем и до 200 гц. Тренировкой и поощрениями Элвара заставляли пользоваться только слышимыми для наблюдателя звуками и отказываться от ультразвуков. Экспериментаторы обучили дельфина четко произносить свое имя и слова "more" (больше), "speak" (говори), "louder" (громче), "up" (вверх), "squirt water" (брызни воду), "more, Elwar" (больше, Элвар) и др.

По способности запоминать и воспроизводить отдельные слова речи человека Элвар, по свидетельству экспериментаторов, далеко превзошел попугая; он иногда даже повторял услышанные сложные научные термины и выражения с первого раза! И вот еще что было установлено: дельфины (Элвар, Лиззи, Бэби) "произносили" фразы на английском языке быстрее, чем люди, которых они "передразнивали". Почему? Известно, что в общем случае информационная емкость канала связи пропорциональна частотному диапазону. Дельфины, как уже говорилось, беседуют

на частотах от нескольких сотен герц до 120 — 170 кгц; таким образом, емкость их канала связи в 10 раз больше, чем у человека. А это значит, что в единицу времени дельфин "излагает" и воспринимает в 10 раз больше информации, чем человек. В частности, Лилли считает, что и "...процесс мышления у дельфинов, вероятно, значительно быстрее, чем у человека. Все, что выполняют дельфины, — пишет ученый, — включая речь и мышление, делается на большой скорости. Поэтому, "работая" с человеком, дельфины быстро теряют интерес к работе. Надеемся, что здесь поможет счетная машина".

Итак, эксперименты Лилли и его коллег над дельфинами в океанариумах заставили задуматься над новыми сложными проблемами биологии — над вопросами деятельности головного мозга у самых высокоорганизованных обитателей моря. Изучив часть "дельфиньего словаря", с помощью которого животные общаются друг с другом, экспериментально доказав способность "интеллигентов моря" воспроизводить фразы человеческой речи, Лилли считает, что в будущем можно будет установить сознательное общение между человеком и дельфином. "Пять лет научных исследований, — пишет ученый, — убедили меня в том, что дельфин... способен вести беседу с человеком". "Конечно, — поясняет далее Лилли в своей книге "Человек и дельфин", — установление связи посредством голоса между человеком и этими водными млекопитающими, которые живут и общаются друг с другом под водой, — задача очень трудная. Мы говорим, находясь в воздушной среде; мы слышим лучше также на воздухе. Разговор под водой представляет для человека целую проблему. Дельфины, по-видимому, несколько опередили нас: они могут издавать звуки и в воздушной среде. Обычно без дрессировки они издают на воздухе не очень громкие звуки, не столь громкие, как наши. Находясь на воздухе, они слышат, хотя и плохо, но никто еще не определил, насколько хуже их слух в воздушной среде по сравнению с водной, где он превосходен. Следовательно, для того чтобы облегчить дело, мы должны разработать технику разговора под водой и такие приемы, которые позволят нам, находясь на воздухе, слышать, что "говорят" дельфины под водой, а им, находясь в воде, слышать, что говорим мы на воздухе. В этом нам помогут гидрофоны, подводные громкоговорители и соответствующая электронная аппаратура.

Другими словами, если мы хотим, оставаясь на воздухе, разговаривать с дельфинами, которые будут отвечать нам, оставаясь в воде, мы должны создать (при помощи электронного оборудования и других средств) надежный канал связи, чтобы слышать друг друга одинаково хорошо".

Однако некоторые ученые не разделяют оптимистических надежд Джона Лилли на то, что даже при наличии самых совершенных технических средств когда-либо удастся осуществить полноценное речевое общение человека и дельфина. И уж совершенно невероятными кажутся им предположения о том, что дельфины смогут когда-нибудь понять какой-то "космический язык" — "линкос" или что такой язык может быть создан на основе дельфиньего для общения землян с нашими "братьями по разуму", обитающими на других планетах. "Такое представление противоречит учению И. П. Павлова, — пишет в своей книге "История слепого кашалота" профессор А. Г. Томилин. — Дельфины, как и все прочие животные, не обладают второй сигнальной системой, т. е. они не могут пользоваться словами сознательно. Они лишь копируют слово как звук за поощрение подобно попугаям, хотя и делают это на гораздо более высоком уровне. Как бы высоко ни был развит мозг дельфинов, они пользуются только первой сигнальной системой: их сигналы страха, бедствия, боли не могут быть заменены каким-то "словом", которое вызывало бы ту же ответную реакцию, как и непосредственный конкретный звуковой сигнал. Речевые сигналы (слова) свойственны только человеку, и возникли они в процессе труда".

Все это, конечно, правильно. Вторая сигнальная система (речевые сигналы — слово, речь, письмо) свойственна только человеку, и возникла она в процессе его трудовой и общественной деятельности. Это — общеизвестное положение материалистического мировоззрения. И все же нам думается, что сегодня еще рано категорически отрицать возможность существования "дельфиньего языка" и возможность речевого общения человека с дельфином. Не исключено, что и сам И. П. Павлов, если бы он жил сейчас и ему были бы известны добытые за последние годы сведения о дельфинах, не спешил бы оспаривать надежд, возлагаемых ныне на этих животных. Хорошо известно, что, когда И. П. Павлов начинал свою работу по изучению высшей нервной деятельности, ему приходилось бороться против антропоморфизма, ставящего знак равенства между психикой человека и животных. Он даже штрафовал своих сотрудников за выражения: "собака подумала", "собака захотела", "собака почувствовала". Но в конце своей деятельности он уже писал, что условный рефлекс есть явление не только физиологическое, но и психологическое. А однажды, рассердившись на ограниченность своих сотрудников, ученый даже прикрикнул: "Затвердили — все рефлексы да рефлексы, а где же сообразительность, ум?" Павлов не раз подчеркивал, что

первым помощником его в сложных физиологических опытах, принесших ему мировую славу, была собака — ее ум, ее послушание, ее необыкновенная способность и готовность служить эксперименту. Дельфин же во всем превосходит собаку. Его высокоразвитый мозг больше и сложнее, чем у собаки. Дельфин в значительно большей мере, нежели собака, стремится сотрудничать с человеком, помогать ему в его исследованиях. Еще две тысячи лет назад Плутарх пришел к выводу, что "...дельфины — единственные из животных, которые любят человека так же, как и самих себя". В своей книге "Разум животных" великий мыслитель писал: "...дельфины — единственные существа, нашедшие великий философский принцип: дружба не за вознаграждение". Словом, дельфины — это те животные, как говорят и пишут сейчас многие крупные физиологи, в нервной деятельности которых могут таиться любые неожиданности, самые потрясающие открытия.

В научные исследования дельфинов сейчас вовлекается все больше и больше ученых разных стран. Значительно расширилась и обновилась за последнее время программа работ, выполняемая Джоном Лилли и его коллегами; они пытаются как можно полнее выяснить, что же дельфины могут делать, чему их можно научить, какова их память, как они мыслят, что знают, как "разговаривают" между собой. С помощью электронноакустических преобразователей и счетно-решающих устройств исследователи стремятся выявить закономерности дельфиньего языка, расшифровать значение определенных звуковых сочетаний. Из появившихся недавно в печати сообщений стало известно, что Лилли разработал новую обширную программу по обучению дельфинов... английскому языку. Не лишне будет заметить, что большая часть работ, ведущихся в лабораториях института, руководимого Лилли, субсидируется американским Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства, которое интересуется проводимыми опытами в надежде, что их результаты пригодятся в будущем, когда космонавтам придется встретиться с разумной жизнью в иных формах, нежели наша, когда им придется вступить в переговоры с представителями других миров.

Большая научно-исследовательская работа по изучению анатомии и физиологии дельфинов, их повадок, психофизиологических способностей ведется и у нас в СССР. Советские исследователи нашли, что 18 сигналов, используемых "интеллигентами морских пучин", совпадают по частоте с некоторыми звуками в разговоре людей. Это, конечно, еще не доказывает существования языка дельфинов, однако лишний раз

подтверждает, что используемые этими животными сигналы могут передавать довольно сложную и обширную информацию. А вот еще два весьма любопытных факта, заимствованных нами из недавно вышедшей книги "Загадки океана", написанной известными советскими учеными, занимающимися изучением дельфинов, В. Бельковичем, С. Клейненбергом, А. Яблоковым. Оказывается, рисунки знаков подводного телеграфа Майсснера и звуков дельфинов очень похожи. Далее, на Земле сейчас живут некоторые народы, разговаривающие свистами-словами. "Было бы правильно, — пишут ученые, — прежде чем начинать разгадку средств общения дельфинов, разобраться в языке свистов, который существует у самих людей".

Наука шагает вперед семимильными шагами. Что она скажет нам завтра о дельфинах, трудно предвидеть. Но во всех случаях сегодня ясно одно: ни в одной биологической системе, развивающейся путем обычного процесса эволюции, не мог возникнуть крупный и сложный мозг просто на удивление человеку, в виде этакого бесполезного вычислительного устройства или кибернетической машины, а уж коль скоро такой высокоразвитый мозг создан природой в течение многих миллионов лет, его надо использовать для чего-то большего, чем беспорядочное плавание и еда. Так, если бы нам удалось установить хороший контакт с очень любящими людей дельфинами, они могли бы научиться оказывать большую помощь в спасении пострадавших во время авиационных катастроф и кораблекрушений. Они могли бы разыскивать терпящих бедствие людей, защищать их от акул, обеспечивать пищей, выполнять роль связных между потерпевшими кораблекрушение и их спасателями.

Давно замечено, что дельфины ведут организованный образ жизни. Их стаи имеют своих вожаков, наделенных рядом важных обязанностей и большими "полномочиями": они выслеживают рыбу, возглавляют ее преследование, руководят окружением рыбного косяка.

Когда кольцо окружения замыкается, вожак дает команду, и животные поочередно входят в круг, питаются равные промежутки времени. Лилли даже уверяет, что дельфины, морские свиньи и киты не только лучше человека умеют ловить рыбу, но даже пасут ее! Во всяком случае, в Южной Африке сейчас делаются попытки обучить дельфинов выполнять функции морских "овчарок" — на отмелях загонять косяки рыб в рыболовные сети. Пока дельфины в Порт-Элизабете проходят соответствующую тренировку, а в недалеком будущем ученые планируют осуществить эксперименты непосредственно в районе

промыслов. Если эти опыты увенчаются успехом, то дельфины смогут оказывать рыбакам неоценимую помощь: во время лова они будут выполнять на море ту же роль, что и овчарки, пасущие и охраняющие на пастбище скот.

Вполне возможно, что в будущем специально обученные дельфины окажут человеку существенную помощь и в научных исследованиях Мирового океана. Недавно в зарубежной печати появилось сообщение о том, что работникам Морского научно-исследовательского института в Гонолулу удалось настолько приручить дельфина, что, выпущенный затем на свободу в море, он возвращался по зову человеческого голоса, усиленного через мегафон, установленный на шлюпке. Этот опыт повторялся неоднократно в течение дня, причем дельфин послушно сопровождал шлюпку, направлявшуюся к берегу, вплоть до подхода к пристани. Достигнутые результаты считаются весьма ценными и полезными для проведения дальнейших подводных изысканий. Ученые надеются, что, приручив дельфинов, можно будет проникнуть с исследовательской аппаратурой в глубинные районы морей и океанов, до сего времени недоступные человеку. И тогда дельфины смогут "рассказать" людям о залежах полезных ископаемых, о неизвестных видах растений, о захваченных морем городах и затонувших судах и о многом, многом другом.

> "Океанографам, — пишет Лилли, — китообразные помогут измерять и картировать поверхностные течения, температуру, соленость и т. д. в безбрежных океанах; при этом отпадает необходимость в дорогостоящих судах. Животные эти соберут нужную информацию и доставят ее в наши лаборатории, расположенные на берегу.
>
> Биологам китообразные сообщат о новых видах, которых мы не встречали раньше, и добудут нам экземпляры этих чудищ. Они сообщат также о поведении морских организмов, с которыми мы пока незнакомы. Мы многое узнаем также о других китообразных. Немало загадочного в поведении косаток, так называемых "китов-убийц". Здесь большую помощь могли бы оказать дельфины. Может быть, косаток ошибочно назвали убийцами".

А пока ученые строят смелые, граничащие с фантастикой планы о грядущем использовании дельфинов в целях получения новой информации и новых данных в области океанографии, биологии моря, рыболовства, лингвистики, нейроанатомии, нейрофизиологии, психологии и др., американцы уже приспособили известного нам дельфина Туффи (участника

эксперимента "Силэб-II") к работе на одном из ракетных полигонов США на побережье Тихого океана. Дело в том, что при запуске ракет падают в море сложные и дорогие телемеханические "устройства расцепки". Мутная вода и ил на дне исключают всякую возможность найти их с помощью водолазов-аквалангистов. Но тут кто-то вспомнил об удивительных способностях дельфина Туффи. К каждому устройству перед стартом ракеты стали прикреплять миниатюрный излучатель ультразвука. В воде этот излучатель дает ультразвуковые сигналы, которые легко и на больших расстояниях улавливаются дельфинами. Туффи устремляется на источник сигналов и легко находит его на дне. А следом за дельфином на дно ныряет аквалангист с тросом. Туффи оказался выгодным работником. За четыре месяца работы он сэкономил ракетному полигону 70 000 долларов.

Нам неизвестно, захотят ли дельфины, мирные по натуре животные, участвовать в войне, однако достоверно известно, что в США их уже к этому готовят по специально разработанной программе. Руководители военно-морского флота США, как это было обнародовано на недавно состоявшемся "научном" симпозиуме в Лос-Анжелосе, сформировали специальные отряды, которые дрессируют дельфинов с целью использования их поразительных психофизиологических способностей в... подводной войне. Так, по мнению экспертов военно-морского флота, дельфин, груженный взрывчаткой, может обнаружить подводную лодку противника, пойти на таран и подорвать ее. Для этого, как они утверждают, нужно научить дельфина различать металлы. Полосы определенного металла на корпусе подлодки помогут дельфину отличать собственные корабли от кораблей противника. Каждая подводная лодка без таких полос будет уничтожаться. Кроме того, тренированные дельфины смогут обнаруживать минные поля и подводные ракеты, они будут следить за мостами, сопровождать подводные лодки и обмениваться с ними сигналами. Но эти замыслы американской военщины, как вы сами понимаете, читатель, ничего общего с бионикой не имеют — "верхом моральной деградации" назвал их видный английский ученый Эшли Монтегю.

Но вернемся к нашей основной теме — биологической связи. Выше мы говорили лишь о звуковой и мимической "речи", о "языке" жестов и поз животных как средстве общения, передачи и приема информации у особей своей группы (семьи, колонии, стаи) или своего вида (популяции); между тем в мире животных применяются и многие другие методы биологической связи, представляющие большой интерес для науки и техники.

Известно, например, что некоторые виды бабочек находят друг друга на расстоянии в 8 — 9 и даже 11 км! Каким образом? Энтомологи высказали предположение, что бабочка-самец отыскивает бабочку-самку, ориентируясь по запаху, выделяемому имеющейся у нее специальной маленькой железой. Однако эта гипотеза оказалась несостоятельной. Специалисты подсчитали, что если бы даже вся эта железа состояла из пахучего материала, то и тогда на каждый кубический метр огромной территории, на которой столь успешно ориентируется бабочка-самец, приходилось бы меньше одной молекулы вещества. Позднее английский ученый Л. Харль, длительное время изучавший поведение бабочек, выдвинул другую гипотезу о механизме связи этих насекомых: бабочка-самка (в частности, речь шла о моли) призывает к себе самца, возбуждая в пространстве особые акустические колебания. Однако и эту гипотезу пришлось отвергнуть, и вот почему: наблюдения велись в центре большого шумного города, и оттуда бабочка вряд ли могла бы звуками призвать к себе самца из далеких окрестностей. Опыты пришлось продолжить. Они обогатили ученого новыми фактами, в результате которых он пришел к следующему заключению: бабочки обнаруживают друг друга на расстоянии в несколько километров благодаря способности их щупальцев-усиков излучать и улавливать... электромагнитные волны! По утверждению Л. Харля, ему даже удалось с помощью радиоприемника "подслушать" сигналы электромагнитных волн, излучаемых бабочкой-самкой.

Независимо от Л. Харля изучением механизма биологической связи у бабочек занимался также в течение 6 лет энтомолог И. Фабри. Он проделал такой эксперимент. Летним вечером на балкон уединенной лесной дачи была вынесена в проволочном садке ночная бабочка-самка. Не прошло и 30 мин, как к ней отовсюду начали слетаться самцы. За три вечера их было поймано 64 экземпляра. На спинке каждого пойманного самца была сделана краской пометка, затем их уложили в коробки, унесли за 6 — 8 км от дачи и выпустили на волю. Но через 40 — 45 мин они снова прилетели к самке. Опыты повторялись неоднократно, но результаты получались одинаковыми. Тогда, подозревая, что органом связи у испытуемых бабочек являются усики, ученый обрезал их у нескольких самцов. Лишенные естественных "антенн", самцы больше не прилетали к самке. По-видимому, в случае удаления усиков самцы теряют способность воспринимать сигналы, посылаемые самкой.

В настоящее время многие советские и зарубежные ученые склонны считать это объяснение самым вероятным. Несколько

иначе объясняют механизм связи бабочек американские ученые Бек и Майлс. Исследуя вопрос, каким образом самцы-бабочки "малый ночной павлиний глаз" отыскивают самку, находящуюся на расстоянии более 10 км, они заключили самку в стеклянную банку. Однако бабочки-самцы по-прежнему прилетали к самке и, казалось, не обращали никакого внимания на препятствие. Ничего не изменило и помещение самки за металлическую сетку. Но когда бабочку поместили за специальное стекло, непроницаемое для инфракрасных лучей, самцы более уже не подлетали к ней, хотя их и выпускали на небольшом расстоянии от самки. Американские ученые выдвинули довольно смелую гипотезу о том, что источником возбуждения является не самка, а самец. У него, как считают Бек и Майлс, имеется нечто вроде "инфракрасного локатора". Последний посылает в пространство инфракрасные сигналы, и их а'хо сообщает самцу о местонахождении бабочки-самки.

Но если это действительно так, то закономерен вопрос: почему бабочка-самец никогда не летит к самке другого вида? Очевидно, в поисках друг друга самка все же не остается пассивной, она тоже играет в этом какую-то роль. Но какую именно? Логично предположить, что она воспринимает лучи, исходящие от самца, и излучает ответные сигналы, свидетельствующие о ее присутствии, причем длина волны такого излучения, надо полагать, является строго определенной для бабочек каждого вида...

Недавно на Международном конгрессе энтомологов американский ученый Р. Кэллахан сообщил, что им обнаружены некоторые виды насекомых, которые способны поддерживать температуру своего тела на несколько градусов выше температуры окружающей среды. При этом они становятся своеобразными генераторами теплового излучения, т. е. электромагнитных волн инфракрасной части спектра. Приемником этого излучения служат чувствительные усики насекомого. По мнению Кэллахана, они играют роль антенн. Если эту гипотезу удастся подтвердить более строгими экспериментами — а такую задачу поставила перед собой группа английских биофизиков и инженеров-радистов, — она сулит заманчивые перспективы. Одна из них — уничтожение вредных насекомых. С помощью соответствующего генератора инфракрасных лучей можно будет заманивать их к ловушкам. Полезных же насекомых можно будет привлекать туда, где они нужны, например на поля, где они будут опылять посевы сельскохозяйственных культур, или в сады, подвергшиеся нашествию вредителей, которых полезные насекомые будут

уничтожать, спасая урожай.

Итак, о поразительной способности многих насекомых находить друг друга на большом расстоянии даже в полной темноте существует ряд научных предположений. Какие из них окажутся правильными, покажут дальнейшие исследования. Пока же не следует торопиться с выводами. Так, например, в устройстве механизма и природе носителя связи у бабочек "павлиний глаз" еще многое сегодня остается неясным. Вполне возможно, что их усики-антенны излучают и воспринимают электромагнитные волны инфракрасной части спектра. Не один десяток гипотез претендует ныне на исчерпывающее объяснение этого удивительного механизма биологической связи.

Приведем еще один пример биологической связи. В статье "Муравьиный язык", опубликованной в 1965 г. в журнале "Наука и жизнь" № 6, профессор П. Марковский пишет:

> "Как-то в Западной Сибири, проходя после дождя по лесной тропинке, я увидел кучу толпящихся лесных рыжих муравьев формика руфа. Они усиленно рыли землю, изо всех сил рвали ее челюстями, оттаскивали мелкими частицами в стороны. Оказывается, под толстым слоем грязи, отставшей от подошвы сапог прошедшего по тропинке человека, был заживо погребен их сожитель по гнезду. Вскоре слегка помятый муравей был извлечен из плена и унесен в муравейник.
>
> Мог ли заваленный землей муравей подать сигнал при помощи запаха? Сомнительно. Запаху трудно быстро просочиться через толщу мокрой, уплотненной земли. Может быть, муравей подал звуковой сигнал? Многие муравьи умеют издавать ультразвуки. Большей частью они извлекаются трением друг о друга мелких насечек, находящихся у разных видов на разных частях тела. Сомнительно и это предположение, так как придавленный землей муравей скован в движениях. Конечно, в таком положении не может быть и речи о языке жестов или прикосновений.
>
> Не существует ли у муравьев той сигнализации, которая получила название телепатии, или биологической радиосвязи? Приведу несколько примеров, заставляющих подозревать именно ее.
>
> Муравьями овладевает большое беспокойство, когда гнездо покинула единственная самка. Они мечутся на поверхности с невероятной быстротой. Кое-кто из них бегает своеобразной вихляющей походкой, раскачивая из

стороны в сторону брюшко, и передает тем самым дополнительный сигнал. Но едва только самка возвращается и наталкивается на первого встречного, как муравьи мгновенно, будто по какому-то мановению, успокаиваются и не спеша возвращаются в жилище.

В горах Тянь-Шаня в последние годы сильно размножился муравей формика сангвинеа. Над ним были поставлены следующие опыты. Группы муравьев по 20 — 40 штук в каждой помещались в железные стаканчики с многочисленными дырочками. Стаканчики закапывались сбоку гнезда. Их тотчас же начинали раскапывать муравьи. На контрольные пустые стаканчики они не обращали особенного внимания. Очевидно, муравьи угадывали нахождение своих собратьев, попавших в бедственное положение, и пытались их вызволить. Столь же быстро раскапывали муравьи металлические алюминиевые стаканчики без дырочек. И только муравьи, заключенные в стаканчики из свинца, не привлекали внимания своих собратьев. Может быть, этот металл надежно задерживал излучение, посредством которого изолированные от общества муравьи связывались с окружающими.

Как объяснить приведенные факты? Это задача, которую предстоит решать биологам совместно с физиками".

Итак, тайны биологической связи еще ждут своих первооткрывателей...

Беседа одиннадцатая. Машина учится слушать, понимать, говорить

Мир звуков. Звенящие аккорды Скрябина и плеск морской волны, пение птиц и ласковый шелест трав. Исчезни все это, и жизнь померкнет. Среди даров, которыми природа наградила человека, слух — один из драгоценнейших.

Слуховой анализатор человека — это устройство, доведенное природой до высочайшей степени совершенства. Поэтому вполне понятен интерес, проявляемый специалистами по бионике к особенностям строения человеческого уха и соответствующего отдела головного мозга, которые обусловливают удивительную тонкость слуховых восприятий.

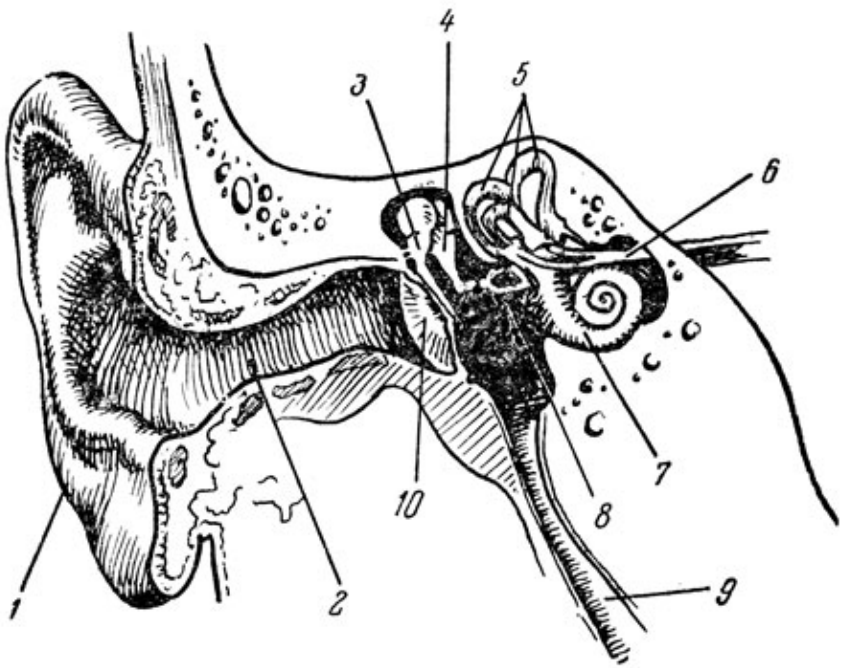


Рис. 1. Ухо человека. 1 — ушная раковина; 2 — слуховой проход; 3 — молоточек; 4 — наковальня; 5 — полукружные каналы; 6 — слуховой нерв; 7 — улитка; 8 — стремечко; 9 — евстахиева труба; 10 — барабанная перепонка (по К. Вилли)

Громкость звуков, которые слышит человек, отнюдь не равнозначна их фактической силе: когда человек стремится понять, что ему говорят тихим шепотом, его слух как бы

обостряется. И наоборот, когда у вас над ухом кричат, оно становится менее чутким, чем обычно. Человек способен слышать звуки исчезающе малой интенсивности. Очень сильные звуки не вредят уху, не разрушают его. При силе звука, опасной для слуха, мозг получает сигналы в виде болевых ощущений. Энергии звуковых колебаний, соответствующие интервалу от порога слышимости до болевого порога, отличаются друг от друга примерно в 10 триллионов раз. Ухо очень точно различает частоты чистых тонов. Слуховой анализатор человека шутя справляется и с более сложной задачей: он точно определяет, что не один, а два или несколько чистых тона звучат одновременно. Здесь в органе слуха происходит разложение частот. В определенных случаях — при восприятии музыки и речи — слух воспринимает не отдельные чистые тона, а их определенные комбинации. Например, музыкальная нота — это сумма многих чистых тонов, дающая ощущение определенной высоты (как и чистый тон), но, сверх того, еще и ощущение тембра — окраски звука, зависящей от того, какие чистые тона, кроме основного, присутствуют в данной ноте.

Слуховое восприятие — очень сложный, очень тонкий процесс. Столь же сложна современная теория механизма слуха, и поэтому мы ограничимся лишь выяснением устройства и основных принципов функционирования уха.

Ухо человека изображено в разрезе на рис. 1. Оно состоит из трех частей — наружного, среднего и внутреннего уха.

Наружное ухо в свою очередь состоит из двух частей — покрытого кожей хрящевого выроста, или ушной раковины, и наружного слухового прохода, ведущего от раковины к среднему уху. В месте соединения слухового прохода и среднего уха расположена тонкая соединительно-тканая мембрана — барабанная перепонка, вибрирующая под действием звуковых волн.

Среднее ухо — это небольшая камера, содержащая три крошечные, последовательно соединенные косточки: молоточек, наковальню и стремечко (названные так за свою форму), которые передают звуковые волны через полость среднего уха. Молоточек соприкасается с барабанной перепонкой, а стремечко — с перепонкой, закрывающей отверстие, ведущее во внутреннее ухо и называемое овальным окном. Среднее ухо соединяется с глоткой узкой евстахиевой трубой, служащей для уравнивания давления по обе, стороны барабанной перепонки.

Внутреннее ухо состоит из сложной системы сообщающихся между собой каналов и полостей, которую очень удачно называют лабиринтом. Часть лабиринта, имеющая отношение к слуху,

представляет собой спирально закрученную трубку, образующую два с половиной витка и называемую улиткой за сходство с раковиной этого животного.

Звуковые колебания попадают в ушную раковину, проходят наружный слуховой проход и заставляют вибрировать барабанную перепонку. Колебания барабанной перепонки передаются системе слуховых косточек. Последняя косточка системы — стремечко — связана с мембраной овального окна и передает через нее колебания в жидкость внутреннего уха. Жидкость (она, как известно, несжимаема) может колебаться благодаря тому, что мембрана второго круглого окна выгибается в направлении среднего уха. Колебания жидкости вызывают деформацию чувствительных ячеек, которыми выстланы стенки улитки, в результате чего происходит раздражение окончаний волокон слухового нерва. Слуховой нерв передает сигналы раздражения коре головного мозга, где осуществляется окончательный анализ звуков. Ухо почти не утомляется. Несмотря на непрерывные шумовые воздействия, острота слуха сохраняется, и утомление уха исчезает через несколько минут. Когда на одно ухо некоторое время воздействует сильный шум, другое тоже утомляется — утрачивается острота слуха; отсюда следует, что утомление (как и следовало ожидать) частично локализуется не в самом ухе, а в головном мозге.

Поистине природа великолепно одарила человека от щедрот своих. Вероятно, нельзя представить себе более совершенного прибора, чем ухо человека. Полученный от природы в подарок слух дает нам широчайшие возможности звукового общения, обеспечивает, так сказать, существование акустического канала связи с окружающим нас внешним миром. Поэтому потеря или притупление слуха — большое несчастье, которое зачастую становится величайшей трагедией.

Вот несколько строк из писем Бетховена друзьям.

Бетховен Карлу Аменде, 1 июня 1801 г.:

> "...Твой Бетховен живет очень несчастливо. Знай, что благороднейшая часть моего существа, мой слух, очень ослабел... Смогу ли излечиться — вопрос будущего... Надеюсь, хоть и сомневаюсь — ведь эти болезни принадлежат к числу неизлечимых..."

Бетховен Вегелеру, 16 ноября 1801 г.:

> "День и ночь у меня беспрерывный шум и гудение в ушах. Могу сказать, что жизнь моя жалка: уже два года я избегаю всякого общества. Иногда я еле слышу

говорящею тихо, правда, я различаю звуки, но не слова; и все же, когда кричат, это для меня невыносимо... Я часто проклинал свое существование... Терпение! Какое жалкое прибежище, но только оно и остается мне".

О глухоте Бетховена очень много писали медики и музыковеды. Медики, профессионально исследовавшие течение болезни, по характерным ее признакам установили, что Бетховен страдал отосклерозом.

Причина потери слуха при отосклерозе состоит в том, что вокруг стремечка, крохотного последнего звена в цепочке слуховых косточек, разрастается костная ткань, сковывающая его основание. Человек слышит до тех пор, пока звуковая волна выбывает колебания слуховых косточек. Как только стремечко становится неподвижным, слух угасает. Заболевание отосклерозом возникает обычно в период полового созревания или в ближайшие годы после него и носит хронический характер. Практически здоровый человек в расцвете творческих сил без всякой видимой причины теряет слух. Существенное значение в причинах возникновения этого заболевания придают наследственно-конституциональным факторам, звуковой травме, нарушению кровообращения, расстройствам функций эндокринной системы.

До недавнего времени лечение больных отосклерозом лекарственными и физиотерапевтическими средствами оставалось малоэффективным. Дело в том, что все они были направлены главным образом на ослабление одного из тяжелых проявлений отосклероза — ощущения шума в ушах. Основной же симптом заболевания — тугоухость — этими методами устранить не удавалось. На помощь пришла хирургия. И если бы Бетховен жил на полтораста лет позже, советские врачи — отоларингологи — излечили бы великого композитора от тяжелого недуга. С 1963 г. лауреаты Ленинской премии А. И. Коломийченко, В. Ф. Никитина, Н. А. Преображенский, С. Н. Хечинашвили и К. Л. Хилов в разных городах Советского Союза провели сотни операций по поводу отосклероза. Сотням людей, страдавших тем же недугом, что и Бетховен, возвращен слух.

Но отосклероз, с которым так успешно борются советские врачи, не самое тяжкое расстройство слуха. Известно ведь, что и сам Бетховен мог "слышать", например, игру на рояле, упираясь подбородком в ручку трости, другой конец которой прикасался к инструменту. Нервные окончания, воспринимающие звуковые раздражения, функционировали нормально, и поэтому механические колебания, проходя через кости черепа,

воздействовали на жидкость внутреннего уха — композитор "слышал".

А как помочь людям с так называемым невритом, развивающимся вследствие нарушения нормальной деятельности самих нервных окончаний, воспринимающих звуковые раздражения? Частичное ослабление слуха можно в известной степени компенсировать, применив обычный аппарат для тугоухих. А если все окончания не функционируют, если связь уха с мозгом нарушена полностью и человек не слышит ни с аппаратом, ни без него?

Недавно в США произошел случай, указавший врачам путь облегчения этого заболевания. Два человека жаловались всем по очереди невропатологам своего города на странный недуг. Время от времени оба слышали голоса людей, которые рекомендовали им купить то холодильник, то мыло, то последнюю модель электробритвы "Ротошейв". В интервалах между уговорами звучала музыка, которая в других обстоятельствах могла бы нравиться, — дело в том, что "голоса" были слышны тогда, когда к испуганным людям никто не обращался, а музыка — когда никто из окружающих ее не слышал.

Врачи были в недоумении — никаких психических расстройств у пациентов не обнаружилось. А между тем они продолжали утверждать, что слышат голоса.

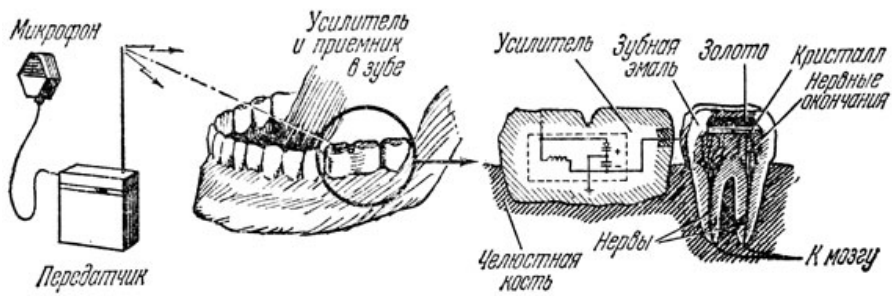


Рис. 2. Схема 'радиозуба'

Наконец, нейрофизиолог доктор Пухарик обратил внимание на то, что оба больных недавно лечили зубы у одного и того же зубного врача по фамилии Лоуренс. Обратились к нему, и стоматолог сказал, что он запломбировал обоим зубы цементом особого состава: в нем была незначительная примесь карборунда.

Постепенно все объяснилось. Кристаллы карборунда — типичного полупроводника — детектировали сигналы местной коротковолновой станции, передававшей торговую рекламу, на которую волей случая оказались "настроенными" зубы,

запломбированные цементом с полупроводящей примесью. Низкочастотные колебания воспринимались живым нервом зуба и передавались в мозг.

Так был найден способ использования нервных окончаний зубов (об их связи со слуховыми центрами мозга было давно известно) для восстановления слуха у больных невритом. Лоуренс и Пухарик обратились за помощью к радиоинженерам. Совместными усилиями был создан "радиозуб" — система, с помощью которой сегодня слышат уже несколько человек (рис. 2).

Миниатюрный микрофон, который можно носить на руке, как часы, связан с таким же миниатюрным передатчиком, преобразующим звуки в радиосигналы. Последние улавливает приемник, вмонтированный в зуб. Ничего удивительного в этом нет, если учесть, что приемник представляет собой тонкий слой полупроводникового сплава, наложенного на свободные нервные окончания в зубе. Этот полупроводниковый сплав образует пьезоэлектрический элемент. Сверху он покрыт слоем золота или серебра, который служит антенной.

Сигнал радиопередатчика, принятый такой антенной, попадает в пьезоэлемент. В нем возникают колебания, которые, возбуждая свободные нервные окончания в зубе, передаются в виде нервных импульсов в слуховые центры мозга. И человек, который до сих пор жил в мире без звуков, начинает слышать.

Совсем иначе подошли к проблеме моделирования слуха израильские ученые. Они работают над созданием "телефона" совершенно нового типа, который должен дать возможность глухонемым общаться друг с другом.

Система состоит из передатчика, снабженного клавиатурой с пятью клавишами, манипулируя которыми можно получать различные частоты, и приемника с диафрагмой, позволяющей воспринимать вибрации концами пальцев. В настоящее время задача состоит в том, чтобы разработать рациональный метод кодирования колебаний простой и сложной формы. Код, построенный всего на трех частотах, позволяет создать словарь из 5000 слов.

Пока ведутся психологические исследования: вырабатывается скоростной метод чтения колебаний, определяется время, которое потребуется на обучение коду, и т. д. Кроме того, израильские ученые считают, что связь с космонавтами может быть осуществлена при помощи этого "телефона" с большей четкостью, так как часто случается, что при передаче человеческий голос сильно искажается.

В радиозубе американских ученых электромагнитные колебания превращаются пьезоэлектрическим преобразователем в

механические — размеры самого пьезоэлектрического преобразователя определяются амплитудой несущей радиочастоты, промодулированной звуковым сигналом. "Вибрирующий" пьезоэлемент по-разному давит на нервные окончания в зубе, связанные со слуховыми центрами мозга, — возникает слуховое ощущение. А может ли ухо непосредственно воспринимать электромагнитные колебания?

Проделайте такой опыт. Возьмите крышку от алюминиевой кастрюли, присоедините к ее ручке провод и вставьте его в одно из гнезд радиотрансляционной розетки. Приложите крышку к уху и пальцем свободной руки прикоснитесь к другому гнезду розетки. Вы услышите передачу.

В чем же здесь дело?

Ухо, а вернее, барабанная перепонка, с одной стороны, и крышка от кастрюли — с другой, представляют собой две обкладки конденсатора, на который по руке и проводу подается переменное напряжение звуковой частоты. Происходящие при этом явления описаны в разделе "Электричество" школьного курса физики. При увеличении напряжения на обкладках конденсатора увеличивается усилие, стремящееся их сблизить, — барабанная перепонка выгибается в сторону крышки. Когда напряжение уменьшается, перепонка стремится вернуться в первоначальное положение. Таким образом, сравнительно просто создать условия, при которых человек может "слышать" изменения напряжения.

К счастью для человека, из всех видов колебаний, распространяющихся в воздухе, человек воспринимает только свет и звук. Если бы человек ощущал электромагнитные волны любой частоты, то мир, в котором он живет, стал бы для него еще более беспокойным. Однако именно в таком мрачном мире начала жить с 1960 г. домашняя хозяйка из Санта-Барбара. Перебравшись в свой новый дом, госпожа Г. (она предпочла, чтобы ее фамилия осталась неизвестной) начала жаловаться врачам на то, что ее преследует во всех комнатах шум, который никто, кроме нее, не слышит. Доктора, приняв это за галлюцинацию, стали лечить госпожу Г. от обычного психоза, но ей ничего не помогало. По виду вполне здоровая, психически уравновешенная, рассудительная женщина начала было и впрямь сомневаться в своем психическом здоровье. О "болезни" госпожи Г. узнал Кларенс Уиски, научный сотрудник Калифорнийского университета. Специалист по контрольно-измерительной аппаратуре, Уиски решил провести исследования загадочного явления. Отправившись в "наполненную странными звуками" обитель госпожи Г., ученый с помощью чувствительных приборов быстро обнаружил, что в новом доме возникают

электромагнитные поля, порождаемые, по-видимому, некоторыми особенностями в конструктивном оформлении электрической, водопроводной, газовой, отопительной, телефонной и радиосети. Не говоря никому о своей догадке, Уиски записал эти обычно неслышимые сигналы на магнитную пленку и затем "проиграл" ее госпоже Г. "И вы хотите сказать, что ничего не слышите?" — удивленно воскликнула она. Уиски действительно ничего не слышал, но это не убедило его в сверхъестественных способностях госпожи Г. Чтобы окончательно разобраться в мучивших его сомнениях, ученый сконструировал устройство, воспроизводившее в общих чертах те же электромагнитные явления, которые наблюдались в доме госпожи Г., и позаботился о том, чтобы всю аппаратуру можно было включать совершенно незаметно. Как только аппаратура начинала работать, госпожа Г. тотчас же начинала жаловаться на слышимые ею шумы. Она также жаловалась на то, что временами слышит сигналы азбуки Морзе высокого тона. Оказалось, что эти сигналы посылала расположенная поблизости радиостанция.

О результатах своих исследований Уиски недавно доложил на конференции специалистов по биологической и медицинской аппаратуре в Лос-Анджелесе. Но сообщение о том, что жительница штата Калифорния способна "слышать" электромагнитные излучения, было принято недоверчиво. Однако на этой же конференции выступил другой ее участник — доктор Аллан Фрей, психолог, который специально изучал влияние электромагнитных полей на психофизиологическое состояние человека.

> "Действительно, — подтвердил он, — эксперименты показали, что при воздействии сверхвысокочастотными колебаниями в диапазоне от 200 до нескольких тысяч мегагерц некоторые нормальные и глухие люди слышат звуки. В зависимости от длительности импульсов и частоты их повторения сверхвысокочастотные сигналы воспринимались испытуемыми как жужжание, писк, шипение или стук. В проведенных экспериментах импульсы СВЧ не несли никакой информации. Что же касается механизма восприятия, то я его объяснить не могу".

Зарубежные комментаторы объясняют чрезмерную скромность доктора Фрея тем, что он, в отличие от Уиски, работает по заданию военно-морского ведомства США. Имеются данные, что в настоящее время продолжаются работы по изучению обнаруженного феномена с целью его использования в

дальнейшем для передачи информации.

Совершенно очевидно, что в рассмотренном случае в организме людей происходят явления, значительно отличающиеся от тех, которые обеспечивают нормальное звуковое восприятие: ведь сверхвысокочастотное излучение "слышат" некоторые глухие! Здесь уместно напомнить, что звуковой анализатор человека с нормальным слухом в нормальных условиях воспринимает только колебания воздуха — сжатия и разрежения продольной воздушной волны, распространяющейся от звучащего предмета, причем он воспринимает их только в том случае, если частота этих колебаний не превышает 20 000 гц. Природа, совершенствовавшая длительное время человеческий слух, видимо, решила, что слышать более высокие частоты нам ни к чему. А вот слуховой аппарат сов природа наделила способностью воспринимать ультразвуки, издаваемые грызунами. Максимальная частота, которую еще слышат совы, примерно равна 30 кгц. Пользуясь своим слуховым аппаратом, даже слепые совы великолепно ориентируются в пространстве. Их ушная раковина — акустически совершенный рупор — усиливает попадающий на нее звук перед тем, как сфокусировать его на барабанную перепонку.

И тем не менее существуют животные, у которых ушной раковины нет совсем, да и сам орган слуха уж очень не похож на человеческий.

"Уши" насекомых, например, расположены в очень неподходящих для этого местах (с точки зрения человека). Знаете, где уши у паука? Настоящих ушей у него, правда, нет, но он все же может слышать. В дополнение к восьми глазам у пауков есть еще высокочувствительные органы слуха на лапках (рис. 3). Углубление в хитиновом скелете заменяет ему нашу ушную раковину. Слуховой орган, расположенный около ножного сустава, открывается и закрывается в ответ на звуки и вибрацию.

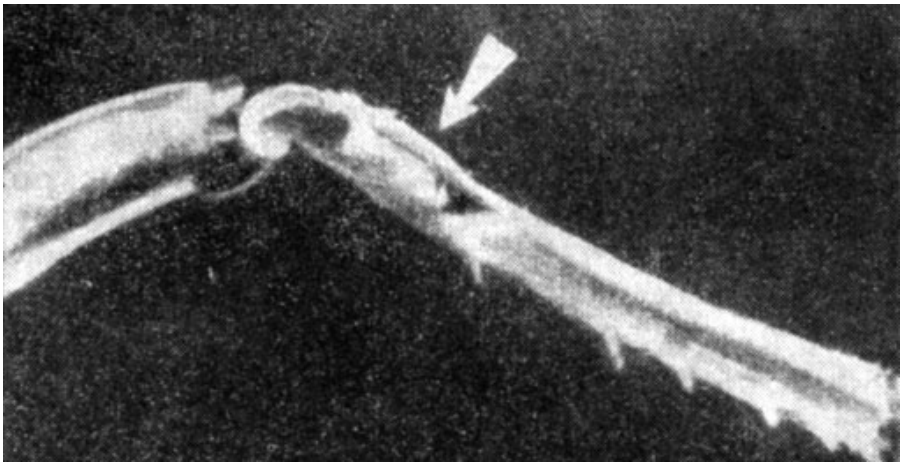


Рис. 3. Ухо паука (показано стрелкой)

Несмотря на кажущуюся простоту, органы слуха насекомых способны воспринимать звуки в чрезвычайно широком диапазоне частот. В ухе ночной бабочки, например, имеется всего три нервных волокна, но оно обнаруживает ультразвуки, издаваемые летучей мышью. Слуховой орган моли воспринимает частоты от 10 до 100 кгц и позволяет обнаруживать приближение летучих мышей на расстоянии до 30 м. "Ухо" моли настолько совершенно и настолько чувствительно, что его использовали для приема сигналов, посылаемых летучими мышами. Для этой цели к нервным волокнам, идущим от слухового органа моли, присоединяли миниатюрные электроды; электрические сигналы милли-секундной длительности, снимаемые со "слухового выхода", записывали на магнитную ленту и затем соответствующим образом обрабатывали для выяснения количества информации, получаемой молью о движении летучей мыши. Работы, проведенные Центром исследований и разработок ВВС США в Кембридже, показали, что два элемента, образующие слуховой орган моли, различаются по чувствительности на 20 — 25 дб.

Немало споров вызвал вопрос о слухе земноводных. Некоторые ученые даже утверждали, что они глухи и не способны воспринимать звуки, которые сами производят. В действительности же последние исследования по нейрофизиологии доказали, что земноводные слышат, но их слух нельзя сравнивать ни со слухом рыб, ни со слухом наземных млекопитающих. Возможно, что некоторое количество вибраций передается не прямо в наружное ухо, а доходит до внутреннего уха кружным путем, через все тело. Некоторые жабы лучше воспринимают звук, когда их слуховые органы наполовину

погружены в воду. Прерывистые звуки они слышат лучше, чем непрерывные. Впрочем, разные виды земноводных слышат по-разному, так что какие бы то ни было обобщения здесь затруднительны. Однако несомненно, что обстоятельное изучение органов слуха животных и прежде всего слухового аппарата человека будет способствовать созданию электронных систем, обладающих принципиально новыми свойствами.

Уже одно достижение такой чувствительности у приборов, улавливающих звук, какой характеризуется человеческое ухо, безусловно, имело бы огромное значение для разработки целой гаммы важнейших научно-технических приборов и устройств. Ведь энергетический порог чувствительности нашего уха в 10 раз выше, чем у глаза! Об исключительно высокой чувствительности слухового анализатора человека можно судить по следующим данным. Люди с острым слухом воспринимают звук при звуковом давлении в слуховом проходе, примерно равном 0,0001 дин/см2, что соответствует перемещению элементов улитки уха на величину порядка 10-11 см. Это в 1000 раз меньше диаметра атома водорода! Разрешающая способность человеческого уха также весьма велика. Достаточно сказать, что люди с хорошо развитым слухом могут отличить звук частотой 1000 гц от звука частотой 1001 гц. Отсюда следует, что чувствительность уха человека близка к абсолютной границе различения. Добиться подобной чувствительности технических приборов и систем было бы весьма полезным.

В последнее время в ряде стран получили широкий размах исследования так называемого квазислухового опознавания, имеющие целью создание устройств, моделирующих слуховой аппарат. Исследования органов слуха проводятся главным образом в следующих направлениях:

механизм обработки акустической информации;

акустические сервомеханизмы;

конструктивные особенности органов слуха.

Кроме того, проводится математическое моделирование органов слуха. Некоторые устройства, воспроизводящие функции органов слуха, уже созданы и испытаны. Так, в Лейденском университете в связи с исследованием механизма восприятия звуков человеком разработана электронная модель уха (в виде системы фильтров), воспроизводящая частотные характеристики уха. Моделирование позволило уточнить механизм слуха и, в частности, объяснить такие явления, как восприятие тембра и звуков в их динамике. Одна зарубежная фирма создала электронную модель уха, обеспечивающую, подобно человеческому уху, различение слабых сигналов на фоне шумов

за счет корреляционного процесса. Другая разработала модель внутреннего уха, где используются аналоги нейронов — нейромимы.

Интересная разработка выполнена сотрудниками Ленинградского электротехнического института связи имени проф. Бонч-Бруевича. Они создали систему, получившую название "электронное ухо". Электронный прибор определяет, насколько хорошо звучат музыкальные инструменты. Для оценки качества звучания гитары устройству требуется меньше минуты, тогда как весьма компетентный экспертный совет затрачивает на это несколько часов. "Электронное ухо", как опытный педагог-музыкант, выводит инструменту "отметку" по пятибалльной системе.

Уже первый опытный экземпляр "электронного уха" позволил организовать своеобразный "конкурс ушей". Гитарист за занавесом по нескольку раз исполнял специально составленную программу. "Электронное ухо" работало параллельно с советом экспертов. Эксперты-музыканты ставили оценки, на основе которых каждому инструменту был выведен средний балл. Когда их сравнили с оценками прибора (эксперты до этого ничего не знали об оценках, поставленных "электронным ухом" тому или иному инструменту), получилось полное соответствие.

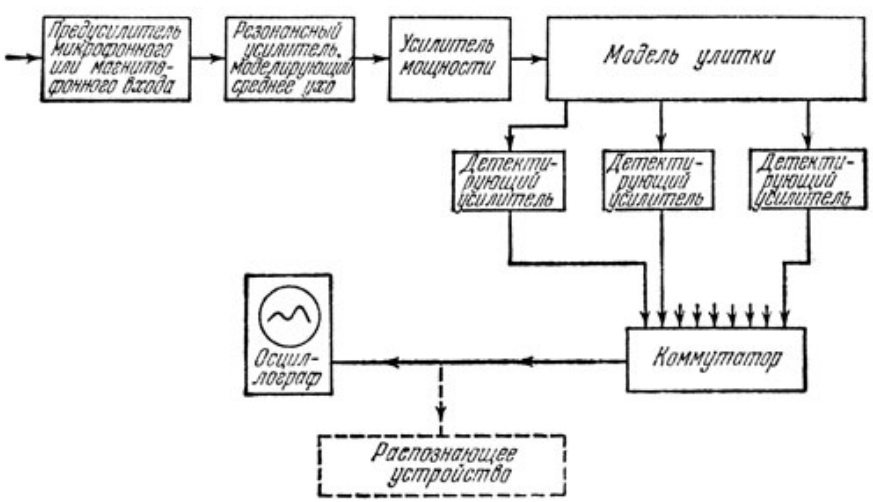


Рис. 4. Блок-схема аналоговой модели уха (по В. Колдуэллу, Э. Глессеру, Дж. Стюарту)

Ряд удачных моделей уха создан фирмами и учебными заведениями США. Примером может служить аналоговая модель уха, разработанная американскими учеными В. Колдуэллом, Э. Глессером, Дж. Стюартом. Модель предназначена для анализа

зависимости интенсивности звучания разных частот в произносимых человеком звуках от времени с целью выявления признаков, по которым человек опознает звуки, фонемы и слова, произнесенные разными людьми. Блок-схема устройства показана рис. 4.

Из рисунка ясно, что блоки системы точно воспроизводят функции, которые выполняют разные части человеческого уха. Так, входной предусилитель модели играет роль ушной раковины, которая усиливает звук, передаваемый ею на барабанную перепонку. Второй каскад выполняет функцию среднего уха.

Почему человек не слышит звуков, частота которых превосходит 20 кгц? Потому что колебания такой частоты очень плохо воспроизводятся барабанной перепонкой и слуховыми косточками. Дело в том, что эти части уха слишком тяжелы и не успевают колебаться вслед за слишком "быстрыми" ультразвуковыми колебаниями. Иначе говоря, амплитуда ультразвуковых колебаний "на выходе" из среднего уха равна нулю. Но те же слуховые косточки плохо передают низкие частоты в несколько герц — колебания получаются слишком медленными и очень слабыми. Таким образом, среднее ухо работает так же, как обычный узкополосный (резонансный) усилитель, более или менее одинаково усиливающий колебания в диапазоне от нескольких герц до 20 кгц (второй каскад блок-схемы). "Усилителем мощности", рассеиваемой в улитке уха (третий каскад блок-схемы), служит вся гидравлическая система улитки, в которой создается давление на чувствительные элементы (оно должно быть достаточным для четкого восприятия звука). Модель улитки представляет собой линию с распределенными R, L, C, к разным точкам которой подключены "чувствительные элементы" — усилители. В разных точках аналога улитки (линии с распределенными параметрами), к которым подключены усилители, звуковой сигнал звучит по-разному. Исследователей интересовали только величины его амплитуд в разных точках, а не частоты; поэтому усилители (они же чувствительные элементы) еще детектировали усиливаемый сигнал, так что на экране осциллографа изображалась по очереди форма огибающих сигнала, соответствовавшая разным частотам. Очередность подачи на вход осциллографа сигналов с разных точек "улитки" обеспечивал коммутатор. Аналогичного устройства в ухе нет, но предполагается, что сигналы возбуждения, передаваемые нервными волокнами, претерпевают в мозге весьма сложную коммутацию: "оттуда — сюда, отсюда — туда".

Результаты исследования "звуковых узоров", воспроизводимых моделью на экране осциллографа, получились весьма неожиданными. Оказалось, что "узоры", соответствующие одному и тому же звуку или фонеме, произносимым одним человеком, зачастую совершенно непохожи друг на друга. Например, при 100 повторениях буквы I (ай) одним и тем же лицом получалось 30 различных картин. Так что мозг и слуховой аппарат человека производят поистине титаническую работу, отыскивая признаки, по которым можно определить (и действительно определяют!), что слово "бионика", произнесенное гнусавым басом и свистящей фистулой, — одно и то же слово.

Способность человеческого мозга разбираться с помощью слухового аппарата в джунглях звуков, выделять из кажущегося хаоса значимые формы является одним из его самых чудесных свойств. В раскрытии этого свойства, его моделировании ныне кровно заинтересована бионика, пытающаяся внести свой посильный вклад в решение одной из важнейших современных проблем, которую кратко именуют "человек-машина".

Представьте себе такую гипотетическую ситуацию.

Скорая помощь привезла в больницу тяжелобольного. Человека положили на операционный стол. Положение чрезвычайно серьезное, дорога буквально каждая секунда: хирург должен сейчас, сию минуту принять решение, а диагноз заболевания еще далеко не ясен. Остается одно — обратиться за помощью к имеющейся в больнице диагностической вычислительной машине, в "памяти" которой накоплен огромный опыт врачей многих стран и поколений. За доли секунды она может "просмотреть" тысячи историй болезни, найти аналогии и на основе их анализа поставить абсолютно точный диагноз. И даже дать рекомендации по лечению. Хирургу нужно задать всего лишь один вопрос своему электронному консультанту. Только машина может дать единственно правильный ответ, и она может сообщить его почти мгновенно. Получив точный диагноз, выиграв время, можно приступать к операции...

Но... Существующие сейчас электронные вычислительные машины, находящиеся на вооружении промышленных предприятий, научно-исследовательских организаций, больниц и клиник, глухи и слепы! Всю информацию они собирают на ощупь, с продырявленных — перфорированных — карточек и лент. С электронными вычислительными машинами мы разговариваем не на своем языке, не так, как удобно нам, а так, как удобно им, машинам. Здесь принята сложная система программ, специальных машинных языков. Машинный язык — язык цифр. Какую бы задачу, вычислительную или логическую, ни решала бы

быстродействующая электронная вычислительная машина, она совершает операции над цифрами и только над ними. Тысячи математиков и программистов заняты составлением алгоритмов и программ для машин, или, иными словами, переводом рабочих заданий с языка человеческого на язык машинный. Представьте себе бригаду землекопов, насыпающих по лопатке ковш гигантского экскаватора, — нечто подобное происходит и в современных вычислительных центрах. В нашем же конкретном случае вопрос хирурга попадает в диагностическую машину не раньше чем через час — время, требуемое для кодирования вопроса и перфорации ленты или карты. А час — это очень много, когда приходится сталкиваться с цейтнотом в "игре", где ставка — жизнь. Вот и приходится врачу в подобных случаях надеяться лишь на собственный опыт да интуицию.

Таких или подобных ситуаций, когда возможности, заложенные в машинах, не удается использовать из-за трудности общения с ними, можно назвать десятки и сотни. Так как электронные вычислительные машины не понимают нашего языка и не могут на нем говорить, не возможны ни разговор с ними по телефону, ни приглашение электронного консультанта на консилиум, на совещание, где порой приходится оперативно принимать решения по важнейшим техническим и экономическим вопросам, на непринужденную беседу с иностранцем, языком которого вы не владеете. Но, пожалуй, самое главное — разговор с вычислительными машинами совсем не прост, сегодня для этого необходимо в совершенстве знать программирование и машинный язык.

Постепенно в науке наметился путь решения этой проблемы: нужно создать машины, понимающие язык человека, такие машины, которые могли бы слышать и понимать услышанное, подчинялись бы буквально каждому нашему слову. Создание машин, воспринимающих голосовые команды, значительно облегчило бы деятельность человека-оператора, так как отпала бы необходимость перекодировки словесно выраженных понятий и команд в сложно координированные акты клавишного или кнопочного управления. Научив машину слушать и понимать нашу речь, мы смогли бы не только улучшить обмен информацией между человеком и машиной, но и эффективно использовать последнюю для совершенствования контактов между людьми. Как, например, услышать человека, опустившегося на дно моря, как быстро и правильно обучить людей чужим языкам? На все эти вопросы мы могли бы, вероятно, получить ответы у машины, которая научилась бы понимать нас "с полуслова".

Каковы же место и роль бионики в решении проблемы "человек — машина"?

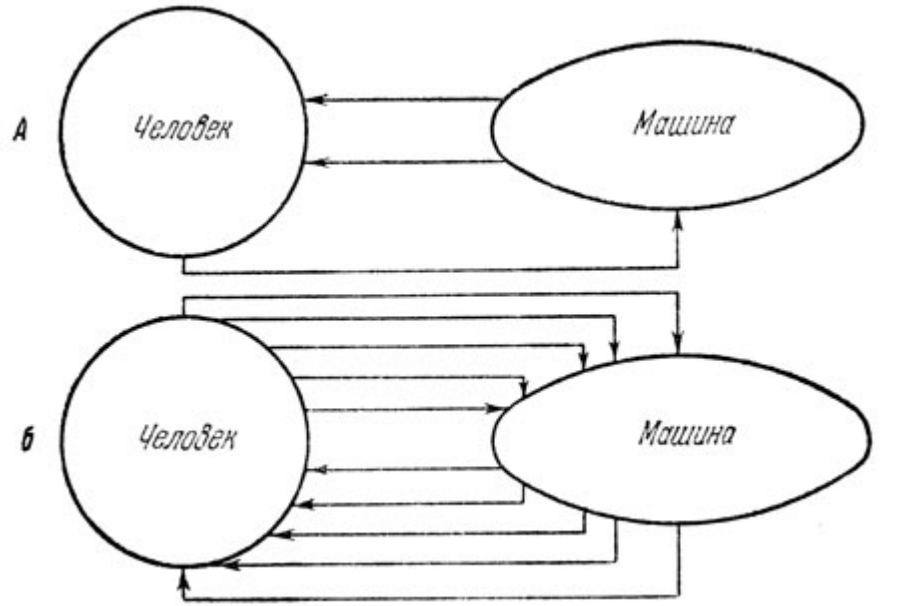


Рис. 5. Схема обмена информацией между человеком и машиной (по В. В. Ларину). А — современное положение дела: человек получает от машины только зрительные и слуховые сигналы и дает машине команды только путем двигательных актов; Б — перспективы расширения поступления информации от машины к человеку и обратно через не используемые сейчас анализаторы (осязание, проприоцептивная чувствительность и т. д.)

В настоящее время обмен информацией между человеком и машиной осуществляется по сравнительно небольшому числу каналов, главным образом посредством выполняемых двигательных актов: нажатием кнопок, ключа телеграфного аппарата, клавиш, перемещением рычагов, педалей, поворотом рулевого колеса и т. п. Что же касается информации, поступающей от машины к человеку, то она сводится лишь к звуковым и световым сигналам (включение различных табло, цифровая индикация). Между тем возможности связи человека с машинами значительно обширнее, чем это имеет место сейчас (рис. 5). Достаточно напомнить, что, кроме зрения и слуха, человек обладает обонянием, осязанием, вкусом, а также проприоцептивной чувствительностью. Все эти входы живой системы — человека — могут весьма успешно использоваться для

ввода в машину самой разнообразной информации. И бионика идет именно по этому пути. В целях обеспечения наилучшего общения человека с машиной бионика пытается широко использовать биологические принципы в технике. Иными словами, в отличие от кибернетики и инженерной психологии, пытающихся разработать оптимальные методы использования человеческих возможностей для управления сложнейшими техническими системами, бионика идет по пути улучшения связи человека с машиной не за счет рационализации человеческих качеств, а за счет "биологизации" машин. Примером может служить проводимая в настоящее время работа по созданию "слышащих" машин.

Такую машину нужно прежде всего снабдить отличным слуховым аппаратом. Это задача, так сказать, номер один. Но услышать сообщение — распознать "слуховые образы" — еще полдела. Нужно также научить машину "понимать" его смысл — в противном случае автомат превратится в некое кибернетическое подобие гоголевского Петрушки, который, как известно, отличался тем, что все читал с равным вниманием. Его увлекал сам процесс чтения: "... что вот-де из букв вечно выходит какое-нибудь слово, которое иной раз черт знает что и значит". "Научить" машину "понимать" человеческую речь — задача номер два. Обе задачи неотделимы друг от друга — это типичные бионические проблемы.

Итак, бионический аспект рассматриваемой нами проблемы "человек — машина" ("человек — автомат") заключается в поиске новых путей для построения машин (автоматов), наилучшим образом согласованных с человеком-оператором. Задача состоит в создании своеобразного симбиоза человека и машины, т. е. такой их кооперации, при которой машина будет выполнять устные команды, заданные инструкции или выдвигать гипотезы и доказывать их, а человек — оценивать их и давать новые распоряжения или инструкции. Процесс общения человека с машиной нельзя разделять. Для достижения этого нужно усовершенствовать (формализовать) обычный язык так, чтобы каждое сообщение человека при его связи с машиной имело для нее определенный логический вес. В этом направлении уже получены некоторые результаты.

По сообщениям американской печати, датированным январем 1962 г., в Корнельском университете был разработан первый перцептрон "Тоберморей", способный "опознавать" произносимые слова. Система памяти этого экспериментального перцептрона содержала около 1000 ячеек, а электроакустический преобразователь (микрофон с последующей записью на

магнитную ленту) принимал до 1600 отдельных акустических сигналов. Почти одновременно или немного позднее сотрудники Иллинойского университета разработали динамический преобразователь сигналов для выделения инвариантов, т. е. неизменных частотных составляющих, служащих основой данного звука речи. Этот прибор содержит систему фильтров и дифференцирующих цепей, при помощи которых производится разложение звуков на частотные составляющие и выделение инвариантов. Создатели прибора считают, что он может быть использован для разработки системы автоматического опознавания слов, а также для предварительной обработки данных в адаптивных системах.

Значительная и даже, пожалуй, основная часть исследований, проводимых в США в области распознавания речи, посвящена созданию квазислуховых автоматов для военных целей. Так, по контракту с Министерством обороны США одна фирма разработала "обучающуюся" машину "Кибертрон" типа К-100, предназначенную для распознавания сигналов гидролокационного устройства. Процесс самообучения проводится путем сравнения записей на перфоленту блока памяти сигналов, создаваемых звуколокационным устройством, с последующей записью других сигналов, например сигналов, создаваемых надводным кораблем, которые по своему частотному спектру близки к сигналам от подводных лодок. Машина сравнивает эти сигналы и выдает ответ. Процесс повторяется до тех пор, пока ответ не будет правильным. Обученная таким образом система, по сообщениям американской печати, обеспечивает быстрое и правильное распознавание шумов, подводных лодок с ошибкой не большей, чем у самого опытного оператора гидролокационной станции. Кроме машины типа К-100 фирма разработала другой вариант — "Кибертрон" типа К-200, предназначенный для распознавания слов английской речи.

Сегодня оператору и диспетчеру приходится не только наблюдать, но и активно вмешиваться в производственные процессы, регулировать, управлять ими. В таких случаях управление голосом могло бы существенно облегчить работу. Учитывая это, в нашей стране и за рубежом в последние годы разработан ряд устройств, срабатывающих при произнесении заранее определенных командных слов. Так, например, несколько лет назад в Институте электроники, автоматики и телемеханики Грузинской ССР была создана экспериментальная тележка несколько необычной формы. Ученые научили ее выполнять 7 слов-команд. Как удалось им достичь этого? Если одно и то же слово повторять много раз и притом разными голосами, а затем

изучить сделанную запись, то можно найти общие черты, характерные только для данного слова. Составленная на основе такого исследования схема закладывается в машину. И тогда, принимая через микрофон уже знакомые ей сигналы, она реагирует на них включением вполне определенных приборов. Повинуясь командам оператора, металлическая тележка срывается с места и послушно движется вперед, поворачивает налево или направо и по сигналу "стоп" мгновенно останавливается. А ведь вместо металлического зверька легко себе представить "понимающих" устные команды-приказы прокатные станы на заводе, работающие в поле тракторы и любые другие машины.

Интересно отметить и такую деталь: изображение звука так же постоянно для каждого человека, как и отпечатки его пальцев. Криминалисты на Западе уже пытаются использовать это обстоятельство для опознания преступников. А ученые Грузии намерены на этой основе создать машины, выполняющие команды только определенных лиц. В общем, как в сказке: "Сезам, откройся!"

Из литературы известно о создании устройства, производящего по устной команде перестройку радиоприемников на фиксированные волны. Создано также несколько моделей машин для автоматического набора номера телефона голосом. Правда, большинство из них хорошо работает только при настройке на данный голос, причем точность набора составляет в этом случае 97-99%, но без настройки она падает до 50 — 70%.

Изготовлены выключатели, реагирующие на резкие звуковые команды. Оказывается, человеческий голос обладает интересным свойством, называемым "асимметрией огибающей". Особенно большой асимметрией обладают гласные звуки. Прибор, основанный на этом свойстве, "слышит" резко сказанные слова или крик и отключает (в случае опасности) двигатели или другие агрегаты. И вот еще что важно: это устройство способно реагировать на речевые сигналы, которые в 20 раз слабее, чем окружающий шум, — шумы не обладают асимметрией огибающей.

Один из зарубежных институтов разработал станок с программным управлением. От других подобных конструкций этот станок отличается тем, что программу для него составляет электронная счетная машина. Точнее, она не составляет программу, а преобразует в понятную для станка цифровую форму команды, отдаваемые оператором в микрофон (на это уходит всего несколько секунд). Станок, программируемый голосом, позволяет сэкономить время, нужное для перевода

величин подачи, глубины резания и т. д. в машинный код, — устройство само выполняет эту работу. Разумеется, программу можно наговорить и заранее, тогда станок будет обрабатывать деталь сам, без оператора. Конструкторы сделали так, что электронной вычислительной машине "безразлично", каким голосом отдается приказ: громким или тихим, басом или дискантом. Ее не смутит и различная интонация, особенное произношение и даже акцент. На входе устройства, управляющего работой станка, стоит "швейцар". Он пропускает только самую суть слова (т. е. то, что отличает данную команду от другой, например "два" от "три" и т. д.). А всяческие "украшения" — то, что ученые называют избыточной информацией, — попросту не воспринимаются машиной.

Не так давно на Брюссельской автомобильной выставке демонстрировался автомобиль фирмы "Крейслер", управляемый посредством устных распоряжений. Стартер запускал мотор, повинуясь словесному приказу водителя. Устное распоряжение заставляло машину включать и выключать сцепление, переключать скорости. Даже повороты водитель совершал, не прикасаясь к рулю (его вовсе не было на машине!), а лишь произнося условные сигналы. Объемистый багажник автомобиля был весь заполнен электронной аппаратурой, среди которой первое место занимало счетно-решающее устройство и "рецепторы", воспринимающие акустические сигналы.

При разработке различных устройств, управляемых голосом, не остались забытыми и устройства для космонавтов. Так как у космонавта, вышедшего в космос из кабины своего корабля, "не хватает рук" для управления индивидуальным ракетным двигателем — он будет занят выполнением различных операций (работа с инструментами, кино- и фотокамерами и т. п.), — американские инженеры разрабатывают электронное устройство, с помощью которого это управление будет осуществляться командами, подаваемыми голосом космонавта. Для этого, как полагают конструкторы, будет достаточно 10 команд.

В Институте кибернетики Академии наук УССР, в лаборатории, руководимой В. А. Ковалевским, создана машина, "запомнившая" два десятка слов. Она узнает их почти безошибочно, независимо от того, кто их произносит. Если учесть, что из двух десятков слов можно составить не одну сотню разнообразных сочетаний, то выходит, что уже сегодня машина в состоянии воспринимать несколько сот различных голосовых команд. Спору нет, этого слишком мало, чтобы вести с машиной свободную беседу, но достаточно для того, например, чтобы она могла мгновенно "понять" команду о выходе из какой-либо

аварийной ситуации.

Из всего приведенного выше следует, что разработка устройств, управляемых голосом человека, идет в определенном направлении. Однако до сих пор еще не созданы устройства для ввода любого речевого сообщения в вычислительные машины. Пока ведутся только научные поиски, эксперименты, ведь совершенно ясно, что поставленная задача много сложнее проблемы опознавания зрительных образов. Преодолеть языковую пропасть между человеком и машиной одним прыжком очень трудно.

Речь состоит из слогов, слов, фраз и т. д. Наименьшим элементом речи является звук (фонема). С физической точки зрения звуки речи различаются и частотным составом, и интенсивностью, и продолжительностью. В речи нет четких границ между звуками. Так же как рукописные буквы соединяются друг с другом промежуточными элементами, звуки речи в словах стыкуются с помощью "переходов" — звуков, которые возникают при перестройке нашего голосового аппарата для произнесения очередного звука. У разных людей форманты даже одних и тех же гласных звуков несколько разнятся по своей частоте и интенсивности (в детском и женском голосе все форманты несколько выше, чем в мужском). Кроме того, даже у одного и того же человека форманты одного и того же звука заметно различаются в зависимости от того, в каком слове произносится звук, ударный он или безударный, высок он или низок. Важной характеристикой звуков являются также число и частота обертонов. Индивидуальные особенности характеристик формант, а также присутствие в голосе еще и других специфических для каждого человека обертонов придают голосу человека неповторимый, присущий только ему одному тембр. Все это многообразие особенностей речевого сигнала заставляет ученых идти различными путями в поисках оптимального решения задачи распознавания речи.

Долгое время считалось, что в машинную память следует закладывать все признаки, которые в интересующем нас образе встречаются чаще всего. Однако при таком статистическом подходе вычислительная машина должна перерабатывать огромное количество сведений о множестве признаков. Но человек никогда не решает так задачу распознавания. Он сразу же выхватывает главное. При этом он выбирает всякий раз особую, часто очень сложгую, но всегда наиболее эффективную тактику отбора. То же происходит и при распознавании речи (устной или письменной). Мы не отыскиваем каждый раз в памяти фонемы, не сличаем их с услышанными. Нам достаточно небольшого числа

опорных ориентиров (первые звуки, ударение), чтобы понять слово. Мы часто понимаем и с "полуслова". Забывая об этом, машину учили постепенно составлять слова, последовательно складывать их из запасенных в памяти фонем. Вот почему, по мнению ряда ученых, практически никто не добился до сих пор большого успеха. Пока есть только машины, слушающиеся небольшого количества совершенно определенных устных команд, но не машины, в совершенстве "понимающие" речь.

Однако такого мнения придерживаются далеко не все специалисты, занимающиеся проблемой распознавания речи. Наоборот, опираясь на свои исследования, они считают, что восприятие слов в нашем мозге происходит по фонемам, а наличие автоматизма в приеме объясняется тем, что в памяти человека имеется набор слов и после прихода цепочки фонем (звуков) в мозгу автоматически создается соответствующий образ. "Это явление, — пишет М. А. Сапожков, — аналогично, например, печатанию на пишущей машинке: машинистка не может точно сказать, какие буквы были ею напечатаны, а при прочтении слова в мозге оно автоматически разлагается на буквы, и соответствующие сигналы поступают из мозга в пальцы. Следовательно, наиболее вероятно, что в мозге происходит опознавание фонем, а уже по ним — узнавание слов по образцам, хранящимся в памяти человека".

А вот Л. А. Чистович, А. В. Кожевников и другие сотрудники Института физиологии имени И. П. Павлова считают, "...что фонемы не представлены в акустическом потоке непосредственным образом и в процессе восприятия речи переход от акустического сигнала к символам фонем осуществляется иным, более сложным способом, чем это предполагает гипотеза пофонемного распознавания". Исследования Л. А. Чистович и В. А. Кожевникова показывают, что наша речь разбивается совсем не на фонемы, как это представляется многим. Письмо дробится на буквы, поэтому и в устной речи понятия, слова мы привыкли связывать с серией отдельных звуков. Но внутренняя организация устной речи другая: она разбивается не на фонемы, а на слоги. Человек принимает решение о предыдущей фонеме только после анализа последующего звука, т. е. он должен проанализировать весь слог.

Так как "...слог является той минимальной единицей, на уровне которой возможен переход от акустического сигнала к смыслоразличительным элементам языка", Л. А. Чистович и В. А. Кожевников пытаются организовать понимание машинами слов, или, как говорят, "распознавание образов речи", исходя из нового принципа. Они считают, что для машины различительными

единицами должны были бы служить слоги. Тогда весь непрерывный поток устной речи можно разбить на слоговые группы и обрабатывать их, основываясь на звуках, которыми заканчиваются слоги. Как только начат переход к другому слогу, машина приступает к обработке данных о предыдущем, а затем передает полученные результаты в устройство памяти или на выход.

Быть может, следует идти по пути создания устройств, автоматически распознающих целые слова и фразы? О распознавании фраз речь может идти только в очень узком понимании: распознавание некоторых команд. Такой путь опознавания образа целого сообщения, по мнению ряда ученых, вполне себя оправдывает в том случае, когда дело идет об автоматизированном распознавании ограниченного набора (до нескольких десятков) команд, состоящих из одного-двух слов. Однако при переходе от ограниченного набора сообщений к общему случаю, когда число возможных речевых сообщений можно принять равным, например, числу осмысленных предложений на данном языке, рассматриваемый путь опознавания образа каждого отдельного сообщения, по мнению В. А. Кожевникова и Л. А. Чистович, явно не рационален. И действительно, для того чтобы хранить в памяти образы всех возможных предложений, распознающему устройству понадобился бы совершенно невероятный объем памяти. Как показывают произведенные Миллером, Галантером и Прибрамом расчеты, для того чтобы хотя бы один раз прослушать все грамматически возможные английские фразы длиной до 20 слов, человеку пришлось бы слушать примерно по 3 о 1020 фраз в секунду в течение 100 лет без перерывов!

Что касается обучения машин распознаванию целых слов, то сторонники фонемного метода рассуждают так. Каждый человек, говорящий по-русски, использует для передачи сообщений около 40 основных звуков-фонем и примерно 10 000 слов. Так что же легче — научить машину различать 40 фонем или десятки тысяч слов? "Как показывает опыт, — говорят специалисты, — идентифицировать фонемы трудно, но все же это единственно разумное решение".

Как мы видим, среди ученых нет единого мнения относительно выбора оптимального метода автоматического распознавания речи. И в этом нет ничего удивительного. Ведь до сих пор нам неизвестны инвариантные признаки фонем, по которым происходит их опознавание. Более того, неизвестно точно, опознаются ли элементы речи по фонемам, образы которых накоплены в памяти человека, или в памяти заложены образцы

слов с их окончаниями и приставками и по этим образцам опознаются слова.

"Наивысшим и совершеннейшим человеческим приспособлением" назвал звуковую речь человека выдающийся русский физиолог И. П. Павлов. Физическая природа звуковой речи хранит в себе множество тайн. Как образуются звуки в голосовом аппарате человека, как они воспринимаются слухом и от чего зависит характер звука — вот проблема, в центре которой еще по сей день скрещиваются интересы ученых, работающих в самых разнообразных областях науки. Для того чтобы машины могли безошибочно выделять какой-то один образ из множества других сходных, нужно точное знание характерных его признаков. Но как выбрать такие признаки? Над решением этой задачи во всем мире ныне работают физиологи и лингвисты, акустики и невропатологи, специалисты по бионике и логопеды, психологи и инженеры, математики и конструкторы. Объединенные усилия всех этих специалистов, надо полагать, в конце концов раскроют тайны устной речи, дадут нам достоверные сведения о механизмах речи, о том, как мы говорим и слышим, почему понимаем слова.

А пока? А пока каждый ученый, работающий над созданием устройств по автоматическому распознаванию речи, идет избранным им путем.

Для проверки того или другого принципа автоматического распознавания речи ученые обычно строят фонетограф. Его блок-схема выглядит так: микрофон — усилитель — распознающееустройство — электрическая пишущая машинка. Появление фонетографов навело ученых на такую мысль: а что, если использовать это устройство в качестве самой обыкновенной пишущей машинки? Диктовать в микрофон текст доклада или научной статьи и получать на выходе тот же текст отпечатанным? Так сказать, автоматизировать труд машинисток или стенографисток, а может быть, и работу типографских наборщиков. Такой аппарат мог бы оказать неоценимую услугу также сотрудникам вычислительных центров. Они смогли бы вводить данные в вычислительную машину, просто диктуя их в микрофон.

Небезынтересно отметить, что возможность создания автоматического стенографа — пищущей машинки была доказана еще в начале сороковых годов советским ученым профессором Л. Л. Мясниковым, построившим динамический анализатор — прибор для объективного распознавания звуков речи. Однако реализация этой идеи была отложена из-за начавшейся Великой Отечественной войны.

Над созданием пишущих машинок-автоматов, печатающих под диктовку, ныне работают ученые ряда стран. Можно проектировать машинки, печатающие с голоса, для печатания слов, слогов, букв или звуков (фонем). По сложности конструкции и трудоемкости изготовления эти устройства очень разнятся. Так, для словесных машинок требуется очень большая память и само печатное устройство получается сложным и громоздким. Зато чисто фонетическая машинка должна содержать в памяти около 40 знаков и иметь столько же печатных знаков. Но такие устройства обладают чрезвычайно существенным недостатком: для чтения напечатанного материала требуется определенный навык, так как фонетографы дают на выходе фонетическую запись, т. е. значки, соответствующие звукам речи, а не буквам продиктованного текста, — своего рода транскрипцию. Почему же они непохожи друг на друга?

Дело в том, что произносимые звуки не соответствуют буквам русского алфавита. Сорока фонемам русской речи соответствуют 33 буквы алфавита. Помимо того, что в нашем алфавите есть непроизносимые буквы (ь, ъ), но и пишем-то мы часто совсем не то, что слышим. Произнесите, например, слово "лоб". На конце отчетливо слышится "п". Но если вы напишите так, как слышите, вас сочтут неграмотным.

Займись наши ученые проблемой распознавания речи не 15 — 20 лет назад, а во времена Кирилла и Мефодия — положение было бы совсем другим. И вот почему. 13 веков назад Кирилл и Мефодий создали русскую письменность, в которой каждому звуку соответствовала буква. Но за прошедшие 1300 лет в нашем произношении произошли большие изменения, а эволюция фонетической системы языка не получила достаточного отражения в письменной речи. Вот и получается описанная выше ситуация.

Как же заставить фонетическую машинку выполнять работу по перекодированию звуков в буквы подобно тому, как это делает пишущая под диктовку машинистка? Да и возможно ли это вообще? Возможно. Перевод звуков речи в буквы должен происходить в соответствии с грамматическими, орфографическими и лексическим:и правилами. Для ЭТОГО машинка должна быть наделена "памятью" на определенное количество звуков, сочетаний или слогов. Отсюда, конечно, не следует, что в памяти машинки должны быть заложены все звукосочетания, вполне достаточно иметь наиболее ходовые и типичные звукосочетания, при произнесении которых возможен неточный перевод звуков в буквы. Очень редких сочетаний или сочетаний, легко распознаваемых машинкой, может в памяти и не

быть, так как это не вызовет трудностей в чтении материала и легко может быть исправлено в процессе чтения.

Примером удачного решения задачи является фонетическая пишущая машинка, созданная американскими учеными Г. Олсоном и Г. Беларом. Общий вид ее конструктивного оформления показан на рис. 6.

Блок-схему всего устройства можно рассматривать как сложный аналог слухового аппарата, части мозга, нервной системы и нервно-мышечного аппарата человека, печатающего под диктовку. Бионическая схема человека, печатающего под диктовку, и блок-схема фонетической пишущей машинки показаны на рис. 7. Чтобы понять принцип работы устройства, проследим, каким образом перерабатывается звуковая информация по пути ее следования.

Звуковая энергия улавливается наружным ухом человека, передается по слуховому проходу и воздействует на барабанную перепонку среднего уха. Механическое движение последней передается жидкости, заполняющей улитку (внутреннее ухо), при помощи слуховых косточек, которые, подобно рычажкам, перемещаются нелинейно. При этом происходит "компрессия" ("сжатие") сигнала, т. е. большие амплитуды уменьшаются сильнее, чем малые, причем уменьшение амплитуды пропорционально ее величине.

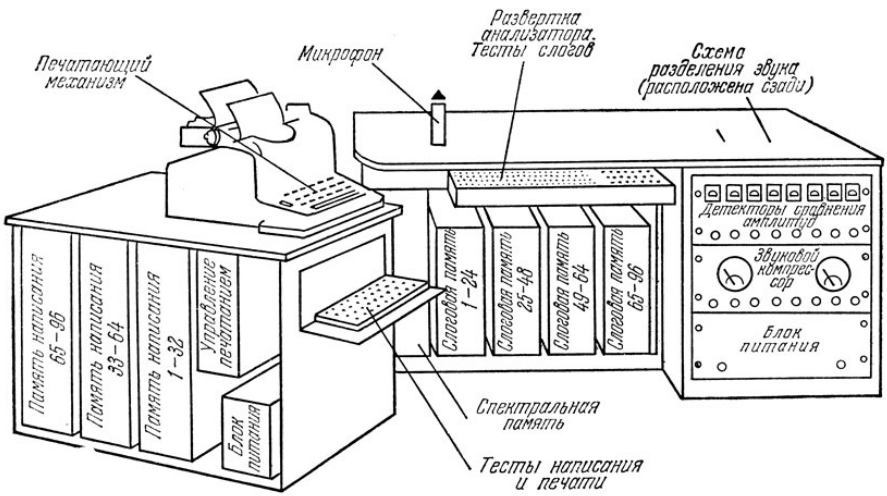


Рис. 6. Общий вид фонетической пишущей машинки (модель III), разработанной Г. Олсоном и Г. Беларом

На рис. 7 показано схематическое изображение "развернутой" улитки и показаны частоты, воспринимаемые различными ее участками. Здесь осуществляется первичный анализ информации.

Дальнейший ее анализ происходит в мозге, куда сигналы поступают по слуховому нерву. На основе этого анализа мозг вырабатывает команды, посылаемые мышцам руки, нажимающей на соответствующие клавиши пишущей машинки.

В машине, распознающей речь, голос оператора воспринимается микрофоном и преобразуется в электрические колебания соответствующих частот. Желательно, чтобы результаты распознавания не зависели от громкости произносимых слов и расстояния от микрофона. Для этой цели в машине применен звуковой компрессор, представляющий собой специальный нелинейный усилитель, который хорошо имитирует работу среднего уха.

После усиления и компрессии речевой сигнал поступает на анализатор частот — систему из восьми полосовых фильтров, охватывающих диапазон 250-10 000 гц, и систему детекторов сравнения амплитуд. Последняя собрана так, что реле, соответствующее данному каналу, включается лишь тогда, когда уровень в нем больше среднего уровня в двух соседних каналах. Выходной сигнал частотного анализатора поступает в виде двоичного восьмиразрядного кода в корректированную по времени "спектральную память". В ней запоминаются состояния восьмиканальных реле в течение пяти последовательных интервалов времени. Образующаяся матрица 5X8, соответствующая произнесенному слогу или слову, считывается устройством распознавания комбинации сигналов лишь тогда, когда вся матрица будет полностью образована.

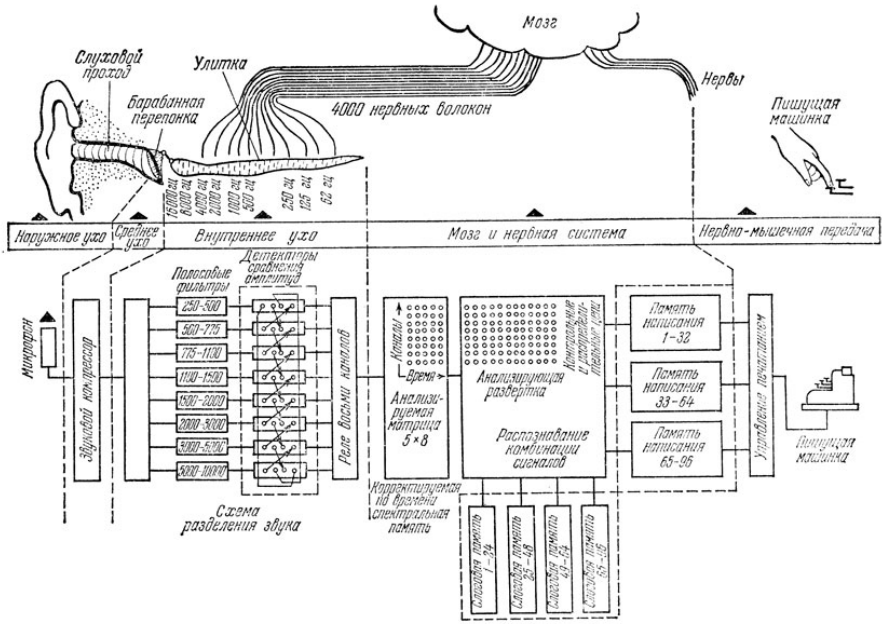


Рис. 7. Бионическая схема человека и машинки, печатающей под диктовку

Речь опознается по группе фонем, составляющих слог, а не по отдельным фонемам (причина этого заключается в том, что распознавание многих фонем вне контекста очень трудно). В слоговой памяти хранятся комбинации сигналов, соответствующие различным произношениям одного и того же слога или слова. Осуществляемое устройством распознавание 40-битной матрицы, соответствующей произнесенному слогу, представляет собой определенный вид процесса сравнения с имеющимися в слоговой памяти "эталонными" матрицами звукосочетаний.

Распознавание слога, если оно произведено, вызывает срабатывание того реле из памяти написания, которое связано с написанием данного слога. В памяти написания (орфографической памяти) имеются типовые комбинации сочетаний букв, представляющих 40 фонем, для заданных 100 слогов. Реле соединено с шинами очередности следования букв и с шинами кода букв в блоке управления печатанием, который в свою очередь управляет работой буквенных приводов. Наконец происходит печатание выбранных букв.

Таким образом, слово печатается в соответствии с заранее определенным написанием, которое по необходимости должно быть одинаковым для одинаково звучащих слов. Именно поэтому

устройство и было названо "фонетической пишущей машинкой".

По данным Г. Олсона и Г. Белара, для того чтобы в английской речи понять 98% произносимых слов и фраз, достаточно иметь "память" приблизительно на 2000 слогов. При этом орфография оказывается правильной примерно в 85% случаев. По расчетам М. А. Сапожкова, для русской речи нет необходимости в таком объеме памяти, так как фонетическая и печатная формы русских слов различаются в значительно меньшей степени, чем английских (требуется память менее чем на 300 звукосочетаний типа СГ и ГС и около 100 звукосочетаний со сложными консонансами).

Несколько моделей машинок, пишущих с голоса, сконструировал научный сотрудник Женевского университета Дрейфус-Граф. Текст читают в микрофон. Звуки, из которых состоят слова, анализируются электронным "мозгом", и каждый звук превращается в электрический сигнал. Эти сигналы приводят в действие рычаги электрической пишущей машинки. Как утверждает изобретатель, последнюю модель его пишущей машинки можно "научить" писать со скоростью стенографистки высшей квалификации.

Над созданием пишущих машинок, печатающих под диктовку, работают и советские ученые ряда научно-исследовательских организаций. Достигнутые в последние годы успехи в этой области позволяют надеяться, что в ближайшее время появятся сначала промышленные образцы фонетических машинок, затем будет организован серийный выпуск пишущих машинок-автоматов, обеспечивающих правильную орфографию. А отсюда уже один шаг до устройств, которые станут составной частью переводческих машин. Когда же наши машины в достаточной степени обогатят свой словарный запас — а это время, надо полагать, недалеко, — они смогут производить синхронный перевод на несколько иностранных языков.

Впрочем, автомату-переводчику придется различать не только чужую речь, но и говорить самому.

Однажды Норберт Винер сказал:

> "Вполне возможно, чтобы человек разговаривал с машиной, машина — с человеком и машина — с машиной".

С тех пор прошло около 20 лет. Первая часть предвидения ученого близка к осуществлению. А что делается или что уже сделано ныне для реализации второй части предсказания отца кибернетики о возможности разговора между машиной и человеком?

"Я спросил:

— Были вы рады дождю, который прошел сегодня после полудня? Он ответил:

— Нет, я люблю больше солнечную погоду.

— В жаркую погоду человеку нужна по крайней мере одна ванна в день, — заметил я.

— Да, я как раз был на улице и изнемогал от жары, — последовал ответ.

— Когда придет рождество, будет холодная погода, — глубокомысленно заметил я, пытаясь поддержать разговор.

— Холодная погода? — переспросил мой собеседник. — Да, обычно в декабре морозно.

— Сегодня ясная погода, — гнул я свою линию. — Как вы думаете, долго ли она будет продолжаться?

— Позвольте мне не лгать, — взмолился мой собеседник, сбитый с толку столь противоречивыми высказываниями. Как же дождливая погода может быть ясной? "

Говорят, этот разговор состоялся в Университете в Торонто между канадским ученым Берклеем и электронной вычислительной машиной. В ее "память" ввели триста английских слов и научили поддерживать несложную беседу.

За достоверность приведенного диалога мы не ручаемся. Но если бы вы, читатель, лет пять назад заглянули в одну из комнат Института электроники, автоматики и телемеханики Академии наук Грузинской ССР, то вы бы увидели оригинальную экспериментальную машину, которую ученые назвали "синтезатором человеческой речи". Машина сама формировала отдельные звуки речи — фонемы — и, строго придерживаясь законов фонетики, составляла из них отдельные слова и даже целые фразы. И несмотря на младенческий возраст, она научилась говорить разными голосами — мужским, женским, детским. Она одинаково легко и внятно произносила одно слово "мама" и целую фразу на грузинском языке, которая в переводе означала: "Будь внимательна, дорогая Нона!" Этими словами машина напутствовала молодую грузинскую шахматистку Нону Гаприндашвили, когда та собиралась на международный турнир. Экспериментаторы научили машину четко произносить также несколько фраз на русском языке, например: "Наша машина училась, она узнала жизнь". Хоть все эти фразы были заложены в память машины в виде шутки, но за достоверность того, что она их внятно и четко произносила, мы ручаемся.

Аналогичные устройства, но со значительно большим словарным запасом разрабатываются сейчас в США и ряде других стран с использованием методов синтеза речи из слоговых и из фонемных сегментов. Оба метода пока конкурируют друг с другом. Для передачи фонемных сегментов служит созданное для применения в технике дальней связи устройство "Вокодер", в котором место микрофона занимает "пишущая машинка" для подачи электрических импульсов. Специально обученная машинистка нажимает на клавиши, соответствующие определенным фонетическим знакам. Скорость "печатания" должна быть равна скорости речи. Получается своеобразный "разговор руками". Для передачи слоговых сегментов применяют специальную перфорированную ленту с кодированными номерами сегментов. Эта лента подготавливается на буквопечатающем аппарате со слоговым анализатором, группирующим буквы в слоги и выдающим соответствующий номер сегмента. На приемном конце по сигналам, приходящим из памяти, выдаются в усилитель соответствующие сегменты, и синхронизатор объединяет их в слова. Качество речи пока получается недостаточно высоким из-за стыковых явлений.

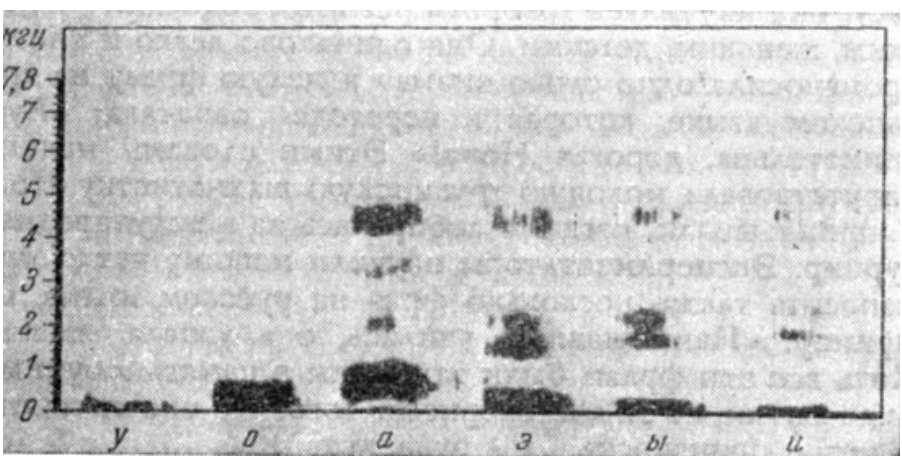


Рис. 8. Видиограмма записи гласных у, о, а, э, ы, и (по А. Митронович-Моджеевской). Видны отдельные верхние тона

Применяются также синтезаторы речи, построенные на принципе синтеза речи по формантам и использующие электрический эквивалент речевого аппарата. Для их построения требуется устройство для перевода печатного текста в кодовые комбинации для управления эквивалентом речевого аппарата. Если повторяющиеся импульсы генератора подать на цепочку контуров, каждый из которых может настраиваться на соответствующую частоту, то удается создать довольно

разборчивую искусственную речь.

Весьма распространенным является анализ звуков по данным динамических спектров видимой речи.

Принцип метода состоит в следующем. Изменение спектральных характеристик речевого потока исследуется при помощи динамических спектрографов "видимой речи". Анализатор "видимой речи" изображает речь в виде динамической картины изменения интенсивности во времени в частотных полосах — как распределение оптической плотности на фотографической пленке. Формантные области выделяются как области интенсивного почернения. Электроакустический анализ гласных при помощи динамического спектрографа "видимой речи" показан на рис. 8.

Если применить фотоэлемент, преобразующий изменения светового потока в изменения электрического тока, то можно получить электроакустическую картину изменения спектра во времени.

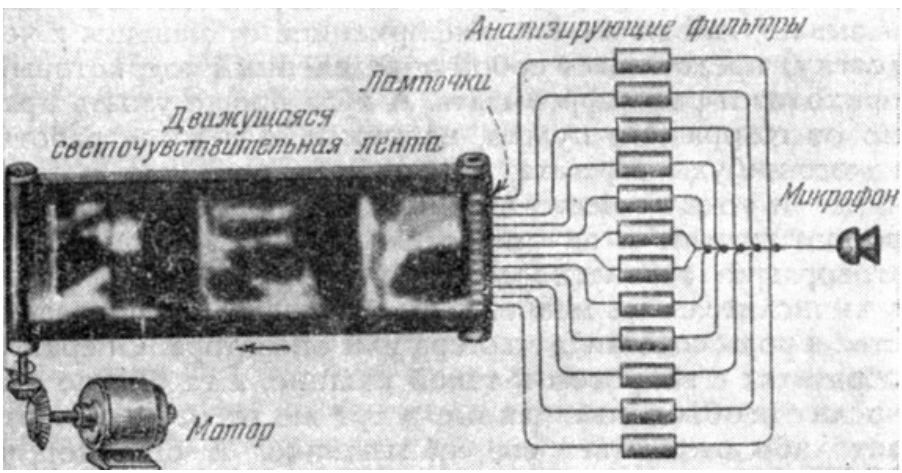


Рис. 9. Схема звукового спектрографа

На рис. 9 показана схема звукового спектрографа К. Поттера (1945 г.). Голос, поступивший в микрофон, пропускается через набор полосовых фильтров, и выходные напряжения каждой полосы используются для управления яркостью маленьких лампочек, излучение которых оставляет следы на движущейся светочувствительной ленте. В полученной записи по оси ординат — частота, по оси абсцисс — время, а интенсивность звука выражена плотностью почернения светочувствительной эмульсии.

Процесс обучения машины нередко сравнивают с обучением ребенка. Но ребенок, как известно, первым делом начинает понимать слова, потом учится говорить и лишь много позже —

читать. С машинами пока что все происходит наоборот. "Работоспособные" читающие автоматы уже созданы, автоматы, умеющие слушать и распознавать человеческую речь, находятся в зените эксперимента, а вот говорящие машины пребывают еще в зачаточном состоянии. Сегодня диалог человека с машиной еще невозможен.

А для чего, собственно, нужен такой разговор?

Как уже говорилось выше, операторы и диспетчеры имеют ныне дело с большим количеством разнообразных сигналов, подаваемых на пульт управления. Одновременное наблюдение за многими приборами становится подчас затруднительным. Снижается быстрота реакции на сигналы, совокупность которых (ее принято называть, как вы знаете, информацией от машины к человеку) представляет собой определенный код, который приходится расшифровывать. А куда проще узнать прямо от говорящего пульта, например, о режиме работы какого-нибудь агрегата, машины, системы или о причинах и точном месте аварии, чем определять все это по оптическим и акустическим сигналам. Кроме того, "говорящие автоматы" могут войти составной частью в вычислительные машины, выступающие на производстве в роли советчика мастера или оператора. Оператор обратится с вопросом к такой машине, а та быстро вычислит необходимые данные и тут же голосом даст ответ либо отпечатает его на машинке. А оператор, в зависимости от обстановки, примет решение, как лучше, оптимальнее вести процесс.

Мы уже привыкли к тому, что, набрав по московскому телефону номер 100, слышим монотонный голос: "Десять часов две минуты". Это простейший говорящий автомат точного времени — автоответчик со сменными записями на магнитной ленте. Но скоро на помощь человеку придут справочные быстродействующие электронные машины — звуковые энциклопедии. По устному запросу человека (например, по телефону) машина мгновенно отыщет нужную информацию и ответит на вопрос из области науки, культуры, быта...

В дальнейшем, по-видимому, говорящие машины найдут широкое применение и в связи. Если из речи автоматически выделять на входе характерные признаки фонем и передавать только эти признаки, а на выходе по ним восстанавливать речь, то ширину канала связи можно сократить в несколько сот раз. Значит, по одной и той же линии сможет вести переговоры значительно большее число людей.

Пройдут годы, и к таинственным планетам солнечной системы устремятся пилотируемые космические корабли. Немало

опасностей будет поджидать космонавтов, которые первыми увидят новые, неизвестные миры, и, вполне возможно, что разведчиками, предупреждающими людей о грозящих опасностях, будут говорящие роботы, роботы-друзья... "Здесь температура — 105°... Сюда можете ступать смело... Здесь зыбкая поверхность, обойдите..." — нечто подобное смогут услышать космонавты от передвигающихся впереди роботов и своевременно предпринять те или иные действия. Это пока еще фантастика. Но не так уж далеко то время, когда умеющие слушать и говорить машины будут помогать нам быстро и на большом расстоянии голосом управлять движением поездов и самолетов, подводных и надводных кораблей, тракторов и комбайнов, будут подавать команды автоматическим станкам, цехам-автоматам с единого диспетчерского пункта завода. Все это — завтрашний день нашей науки и техники.

Проблема распознавания и воспроизведения образов речи — одна из насущных проблем бионики и кибернетики. Сегодня мы находимся еще только в начале пути, и поэтому, разумеется, трудно сейчас предсказать, как будет организована система речи у будущих наших электронных собеседников. Но очевидно одно: если мы хотим, чтобы машина действительно понимала речь и говорила сама, ее нужно снабдить чем-то вроде второй сигнальной системы. Иными словами, необходимо создать нечто похожее на вторую сигнальную систему человека. Нет слов, эта работа предельно сложна и трудно осуществима. Однако следует признать: чем сложнее становится наше представление о грядущих электронных собеседниках и о нас самих, тем ближе и реальнее делаются эти будущие друзья-машины, умеющие нас слушать, понимать и говорить.

Мы привыкли к обыденности слов и подчас забываем о величии оружия, которым владеем. Но, подумав об этом, нельзя не восхищаться щедростью людей, стремящихся передать свои способности, свой интеллект машинам.

Беседа двенадцатая. Зрячие машины

Существует такой проверенный опытом поколений тезис: "В жизни случается всякое". Как говорят, — бывает.

Например, недавно над одним из аэродромов ФРГ столкнулись в воздухе сразу четыре (!) самолета. Когда оценили вероятность такого события, получилась ничтожно малая величина. И все-таки катастрофа произошла.

Это случилось потому, что воздух над современными большими аэродромами буквально "кишит" самолетами. С земли этого не видно, а диспетчерская служба наблюдает на экранах обзорных радиолокаторов за десятком самолетов сразу.

Радиолокатор показывает только положение самолета в каждый данный момент, а решить, каким оно будет через полминуты, — обязанность оператора. Скорости же современных воздушных лайнеров таковы, что, если два самолета выскочат навстречу друг другу из облаков на расстоянии 1,5 км, они столкнутся прежде, чем летчики успеют что-либо предпринять. Таким образом, безопасность пассажиров и экипажей самолетов в зоне аэропорта зависит от того, насколько четко работает его диспетчерская служба.

Воздушные пути сообщения год от года становятся все оживленнее. И соответственно возрастают требования к четкости работы регулировщиков "воздушного движения" — диспетчеров в аэропортах. Но, к сожалению, даже самый аккуратный диспетчер может ошибиться. А это значит, что могут столкнуться самолеты. И сталкивались не раз и не два и не только над аэродромами ФРГ. Расследование причин аварий постепенно приводило к выводу: диспетчер имел дело со слишком большим количеством разнообразных сведений. В результате он реагировал на второстепенный сигнал, а по самому важному сигналу мер не принимал. Делалось это отнюдь не умышленно и даже не по неопытности, а потому, что способность человека выбирать главное в потоке информации тоже имеет предел.

Надо было искать возможность "обострить внимание". И такая возможность бионикой была найдена.

С некоторых пор на аэродроме города Дайтона за обстановкой в воздухе, которая воспроизводится аэродромным локатором, следят не диспетчеры, а электронное устройство, обязанность которого — предупреждать возникновение опасных ситуаций. Множество взлетающих и садящихся самолетов находится постоянно в поле его зрения, но если они идут установленными курсами, устройство их не замечает. Однако

если, скажем, два самолета движутся так, что возникает опасность столкновения, прибор немедленно поднимает тревогу. Это устройство работает несравненно лучше, чем самый внимательный диспетчер, так как зрительный аппарат человека охватывает всю картину сразу и из-за многочисленности отдельных, зачастую второстепенных ее деталей может пропустить то, на что он должен обратить особое внимание.

Это устройство, называемое "жабий глаз", представляет собой техническое воплощение идеи, которая была реализована природой, создавшей зрительный аппарат лягушки.

Жизнь лягушки чрезвычайно сильно зависит от работы ее зрительного аппарата. Глаза помогают ей охотиться. Основная информация, которую перерабатывает мозг лягушки во время охоты, поступает от глаз. Глаза помогают ей спасаться от врагов (при этом лягушка поступает просто: увидев врага, она прыгает туда, где темнее, ведь "в силу земноводности" для нее не важно, вода там или суша).

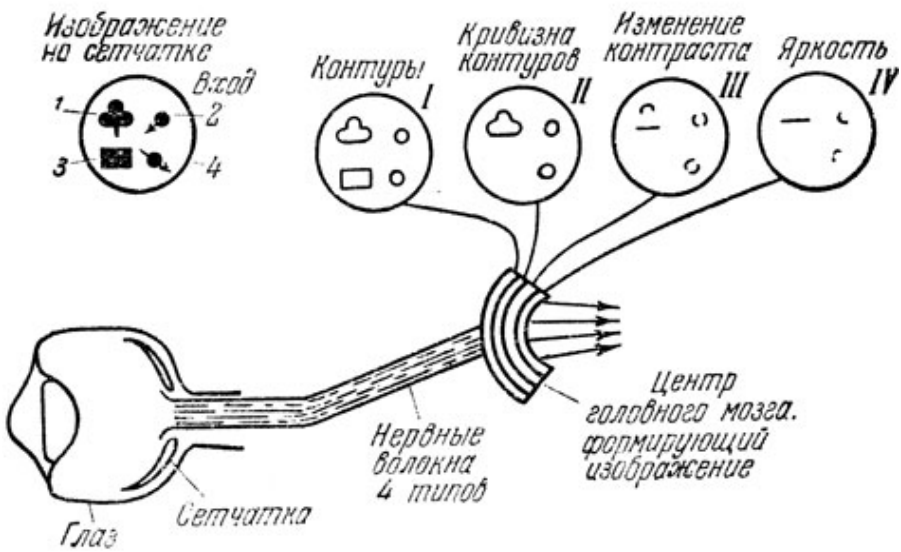


Рис. 1. Схема обработки информации в глазу лягушки. Глаз лягушки 'выделяет' качественные признаки воспринимаемых им объектов — контуры, их кривизну и т. п. Электронная модель глаза лягушки — одна из первых созданных руками человека истинно бионических систем

Огромные выпуклые глаза лягушки не могут двигаться, как наши, — не могут следить за добычей, наблюдать за подозрительными событиями или отыскивать нужные предметы.

Лягушка, по-видимому, не различает неподвижных предметов или по крайней мере не проявляет к ним никакого интереса, и она умрет от голода среди изобилия насекомых, если они не будут двигаться. И в то же время ее легко поймать на кусочек красной фланели качающейся на крючке. Она выбирает добычу только по размерам, характеру движения и расстоянию до нее. Лягушка прыгает, чтобы схватить предмет, имеющий форму насекомого или червя, только если этот предмет движется, как насекомое или червь. Зрительный аппарат лягушки посылает в мозг хозяйки лишь такие сигналы, которые для нее жизненно важны. Скажем, пролетает мимо муха на близком расстоянии — лягушка мгновенно реагирует, а летит муха на таком удалении, что охотиться за ней бесполезно, — животное словно бы и не видит ее. Если глаза лягушки зарегистрируют резкое движение тени, они тотчас извещают об этом свою хозяйку, и она тут же насторожится — уж не хочет ли кто-то ее поймать и съесть? Если же тень ползет медленно, двигаясь вместе с солнцем, то зрительный аппарат лягушки ей об этом не сообщает. Словом, глаз лягушки — превосходная биологическая информационная система, перерабатывающая всю поступающую информацию и выбирающая из нее только ту часть, которая представляет для лягушки интерес.

Зрительный анализатор лягушки устроен очень сложно. В глазу лягушки имеется миллион клеток-рецепторов, воспринимающих световое раздражение.

В глазу лягушки происходят четыре отдельных процесса переработки изображения. Результаты каждого процесса передаются по особым группам волокон, равномерно представленных в сетчатке. Процессы обработки изображения на сетчатке таковы (рис. 1):

обнаружение длительно сохраняющего положение контура;

обнаружение кривизны контура;

обнаружение движущегося контура по изменению его контрастности;

обнаружение изменения освещенности.

Работа глаза лягушки почти не зависит от общей освещенности. Поэтому способность лягушки узнавать свою жертву и моментально обращать на нее внимание не изменяется при изменении внешней обстановки. Так же, как мы можем опознавать образы в очень разнообразных условиях, лягушка способна видеть свою жертву и хватать ее при ярком свете и в сумерках, независимо от того, находится ли она в естественных условиях или в террариуме.

Изображение на сетчатке глаза передается в мозг лягушки по

зрительному нерву не как единое целое: в мозг поступают уже кодированные, разделенные по четырем признакам элементы изображения. На рис. 1 показаны четыре предмета, находящиеся в поле зрения лягушки. Верхние предметы движутся к центру, нижний правый — от центра, нижний левый — неподвижен. Когда изображение проектируется на сетчатку, то сначала все контуры выделяются резко (I), затем неподвижный предмет становится невидимым (II), а контуры движущихся тел обозначаются четче и ярче (III и IV).

Каждая группа волокон зрительного нерва служит для передачи одного вида сообщений в соответствующий слой нервных окончаний в мозге. В мозге лягушки имеется четыре таких слоя, соответствующих четырем процессам трансформации изображения. Действия лягушки являются результатом переработки ее мозгом кодированной информации, поступающей от зрительного аппарата.

Техническая система, моделирующая работу зрительного анализатора лягушки, намного больше, чем его прототип, созданный природой. Это ящик объемом в 1,8 $м^3$, в котором находится более 30 000 реле, транзисторов, фотосопротивлений, неоновых ламп и других электронных компонент (рис. 2).

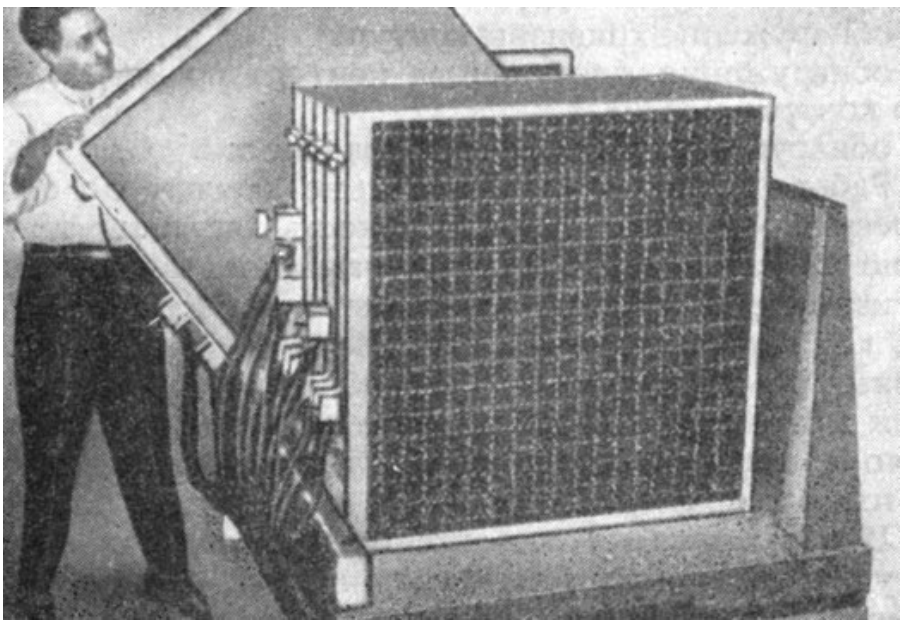


Рис. 2. Внешний вид электронной модели глаза лягушки

Главная часть прибора состоит из одинаковых вычислительных машин, которые расположены одна за другой и воспроизводят функции четырех слоев нервных окончаний в

мозге, анализирующих сигналы изображения. Изображение проектируется на экран с 1296 фотоэлементами, выполняющими роль рецепторов сетчатки. Дальше информация передается от слоя к слою и сортируется при этом на нужную и ненужную. Нужная информация переносится от одного слоя к другому световыми лучами неоновых ламп и воспринимается фотосопротивлениями.

Устройство непрерывно анализирует обстановку над аэродромом с точки зрения ее безопасности и в случае создания угрожающего положения, при котором одному из самолетов необходимо дать команду уйти в сторону, решает, кому именно нужно дать такую команду. Летчики и аэродромные диспетчеры считают, что новая система существенно увеличивает безопасность полетов. М. Хершел и Т. Келли, авторы первого варианта функциональной электронной модели глаза лягушки, считают, что устройства такого типа можно с успехом использовать в радиолокационных системах противоракетной обороны (ПРО). В системах ПРО они могут применяться для мгновенного опознавания ракет, что обеспечит уменьшение времени, необходимого в наши дни для вычисления баллистических траекторий.

Интересно, что глаза голубя, которые, как известно, прекрасно воспринимают изображение, обладают той же способностью, что и глаза лягушки: они тоже осуществляют предварительную обработку получаемой информации. Благодаря этому мозг воспринимает уже преобразованное изображение того, что видит глаз. Знание механизмов переработки информации в зрительном анализаторе голубя может оказаться полезным для разработки радиолокационных устройств, в частности сложных устройств для разведки и съемки местности.

Особый интерес представляет способность зрительного анализатора голубя избирать объекты, движущиеся в одном направлении. Это свойство получило название "способности обнаруживать направленное движение". Использовав его, можно построить обзорную радиолокационную систему, обнаруживающую самолеты, летящие в заданном направлении, например в сторону авиабазы, и, следовательно, осуществляющую предварительную обработку информации, близкую по принципу действия к функции биологической системы. Выяснением этого принципа заняты сейчас сотрудники одной из американских фирм, создающие модель глаза голубя.

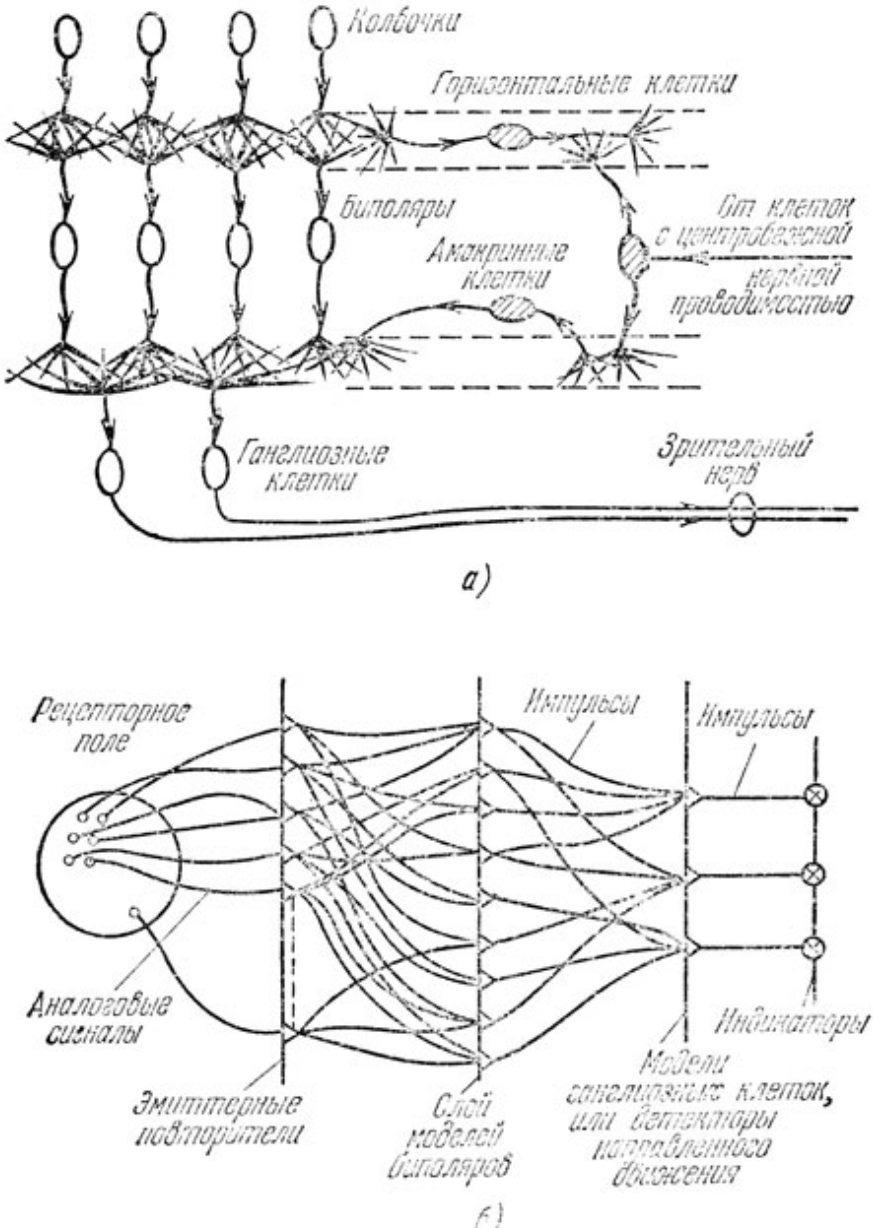


Рис. 3. Грубая анатомическая схема сетчатки глаза голубя (а) и функциональная схема модели его сетчатки (б)

Сетчатка его глаза по существу представляет собой трехслойное устройство (рис. 3, а). Внешний слой содержит колбочки, или фоторецепторы, которые преобразуют воспринимаемые глазом световые сигналы в электрохимические потенциалы и передают последние в промежуточный слой,

состоящий из нейронов, или нервных клеток, называемых биполярными или просто биполярами. Биполяры "переводят" сигналы, поступающие из внешнего слоя, и передают их (как принято думать) в виде последовательностей импульсов в третий слой, состоящий из нервных окончаний, выходные импульсы которых направляются в мозг по волокнам зрительного нерва.

Чрезвычайно важным элементом зрительного аппарата голубя является нейрон. Для моделирования его требуется разработать значительно более сложное устройство, чем ранее созданный оптический решающий фильтр[20]. Новый аналоговый нейрон, смоделированный в лаборатории, ближе по своим характеристикам к биологическому. Для биологического нейрона характерно наличие рефрактерного периода[21], по истечении которого нейрон снова приобретает нормальную чувствительность к раздражению. Кроме того, биологический нейрон должен обладать способностью генерировать, выходной сигнал в кодированной импульсной форме, свободной от дихотомии[22], свойственной выходному сигналу ранее сконструированного устройства. Наконец, наиболее важное свойство биологического нейрона — его способность запоминать, каким образом он реагировал на последнее раздражение, что отличает его от обычного логического устройства, работающего по принципу "большинства". Именно эти свойства зрительного анализатора голубя характерны для недавно созданной модели аналогового нейрона и отличают ее от ранее предложенной. Последняя, напомним, была основана на модели нейрона, реализующей пространственное суммирование и пороговую операцию.

Описанная выше схема глаза голубя показана на рис. 3, 6. Для моделирования биполярных и ганглиозных клеток использовались видоизмененные модели Хармона. Колбочки моделируются набором фотодиодов, каждый из которых соединен с эмиттерным повторителем. На выходе повторителя включен биполярный элемент, управляемый перепадом постоянного тока. Разветвляющиеся беспорядочные соединения между колбочками, биполярными и ганглиозными клетками выполнены на коммутационных панелях приборной стойки, на которой размещена большая часть схемы сетчатки.

Для моделирования нейронной структуры глаза голубя в модель Хармона были внесены некоторые изменения. Вместо одного запрещающего входа предусмотрено пять таких входов с тем, чтобы элемент имитировал горизонтальные и амакринные нервные клетки.

Каждый нейрон помещен на отдельной схемной панели,

детали которой легко изменить в соответствии с характером поставленной задачи.

Скорость работы модели нейрона соответствует частотам порядка килогерц, т. е. эквивалентна скорости работы биологической системы. Чтобы создать фильтры для радиолокационных систем, основанных на этом принципе, потребуются частоты порядка мегагерц. В связи с этим специалисты создали высокоскоростную модель нейрона на блокинг-генераторе и интеграторе.

В ней содержится рецепторное поле со 110 фотодиодами и отдельной стойкой, на которой размещены эмиттерные повторители и система соединений с 80 биполярными нейронами. В данной модели последние соединены с 6 ганглиозными элементами. При попадании светового сигнала на рецепторное поле выходные импульсы отдельных фотоэлементов преобразуются в звуковые сигналы или подаются на осциллограф.

Пока что эта модель оказалась способной обнаруживать пятна и их края, движущиеся в определенном направлении. Система, однако, не обнаруживает неподвижные пятна или края.

Для создания индикатора пятна, движущегося в определенном направлении, т. е. для создания модели глаза голубя, исследователи намерены дополнительно ввести в созданную ими систему некоторое количество нейронов и расширить рецепторное поле. Последнее будет содержать до 200 фоторецепторов, число биполяров повысится до 150, ганглиозных клеток — до 25. В глазу же голубя число нейронов может достигать миллиона.

Поскольку точное устройство глаза голубя неизвестно, специалисты проводят эксперименты, по-разному соединяя между собой отдельные элементы модели. Для облегчения этой задачи используется коммутационная панель, при помощи которой надеются опытным путем установить, каким образом голубь выбирает определен-

Мое направление полета. Выяснив это, инженеры смогут перейти к изучению способности глаза голубя производить предварительную обработку данных.

Относительно реакции голубя на объект, движущийся в определенном направлении в его поле зрения, известно лишь то, что эта реакция не обусловлена деятельностью мозга, а возникает в результате предварительной обработки информации на участке глаз — мозг. Эта способность голубя, по-видимому, позволяет ему принимать быстрые и правильные решения. Полагают, что результаты изучения процессов переработки информации в глазу голубя внесут большой вклад в теорию и практику построения

приборов, воспринимающих информацию. Такие исследования займут, вероятно, немало времени. А пока изобретательные ученые и инженеры нашли оригинальный способ использования совершенного зрительного аппарата живого голубя.

Одна американская фирма, производящая электронное оборудование, в течение довольно длительного времени терпела значительные убытки. Изготавливаемые ею дорогостоящие приборы быстро выходили из строя. Заказчики негодовали и, разумеется, требовали компенсации. Нужно было спасать репутацию фирмы...

Проведя анализ причин, специалисты фирмы выяснили, что приборы приходили в негодность из-за мельчайших трещин в покрытии некоторых деталей. Но и после этого ситуация нисколько не улучшилась — контролеры по-прежнему пропускали брак, так как дефекты покрытия было чрезвычайно трудно различить. Следовало заставить контролеров быть более внимательными, и руководство фирмы обратилось за советом к психологам. В качестве консультанта был приглашен профессор Колумбийского университета Каммингс. Профессору было известно, кто может справиться с такой работой наилучшим образом. В свое время доктор Верхэв из Сан-Франциско решил использовать голубей, обладающих большой остротой зрения, в качестве... контролеров на фармацевтических заводах. Когда голуби обнаруживали, что облатки и пилюли отличаются по размеру или цвету от стандарта, они тут же отбрасывали их. Эти же свойства голубей поставила себе на службу одна южноафриканская фармацевтическая фирма. Голуби не тяготились однообразной работой и оказались способными к длительной сосредоточенности.

И вот у конвейера, по которому двигались капризные детали электронной аппаратуры, поставили клетку с голубем. В ней находились две стеклянные пластинки, соединенные с системой электрической сигнализации. Голубь приступил к исполнению своих "контролерских обязанностей". Взглянув на проплывающую мимо доброкачественную деталь, голубь клевал ту из двух пластинок, которая включала сигнал "все в порядке". Если же на конвейере появлялась деталь, чем-то отличавшаяся от нормальных, птица клевала другую пластинку, указывающую на то, что идет брак. Опыт повторяли сотни раз. Обнаружение бракованных деталей поощряли, как водится, просяными зернами, и постепенно голубь превращался в высококвалифицированного контролера. Сначала он замечал дефекты явные, позже — трудноразличимые и, наконец, совершенно неразличимые человеческим глазом. Обучение, в

зависимости от способностей "ученика", продолжалось 50 — 80 час. Профессор подсчитал, что голубь не замечает дефектов только в 1 % случаев,

Об успешном использовании голубей в качестве контролеров на производстве сообщалось совсем недавно и в нашей печати. Инициатором этого нововведения явился заместитель главного технолога одного из московских машиностроительных заводов А. М. Быков. Вместе с товарищами по работе — инженером-конструктором С. К. Лапшиной и начальником лаборатории А. С. Пантелеевым Быков решил использовать голубей для визуального контроля шариков для подшипников. Для обучения птиц выполнению столь ответственной функции инженеры построили специальный стенд, по конструкции очень сходный с описанным выше устройством. Но голубь — чуткая птица, и повозиться с наладкой работы "голубиного ОТК" пришлось, не имея опыта, изрядно. То птицам, рассказывает Быков, не нравился свет, то они не хотели есть из кормушки, подававшей поощрительные зерна. Один голубь клевал сильно, другой — слабо, пришлось подбирать пружинки контактов. В конце концов дело пошло на лад. Голуби научились сортировать шарики для подшипников. Но, приступив к работе, крылатые контролеры уже на другой день стали браковать все шарики подряд, без разбора. Не помогало ни удвоенное вознаграждение, ни улучшенное освещение. Причина оказалась совершенно неожиданной. Голуби замечали даже следы пальцев на зеркальной поверхности и отправляли шарики в брак. Стоило протереть их предварительно тряпочкой, как все стало на свое место и работа наладилась.

Интересно, что голубь, получая вознаграждение только за бракованные детали, никогда не "жульничает", чтобы получить лишнее зернышко. Опыт советских инженеров по применению "голубиного ОТК" показывает, что на первоначальное обучение новичка функциям контролера нужно 3 — 5 дней, а через 2 — 3 недели "квалификация" его значительно повышается и, чем тоньше становятся дефекты в контролируемой продукции, тем бдительнее делается птица. Производительность голубя — 3 — 4 тысячи деталей в час, работать он может несколько часов подряд, не обнаруживая признаков усталости и не снижая качества контроля.

"А если голубь заснет или перестанет клевать? — спросил журналист у инженера Быкова.

— Блокирующее устройство прекратит подачу деталей.

— А если будет так много брака, что голуби

объедятся?

— Тогда надо гнать бракоделов с работы, — смеясь ответил Анатолий Михайлович. — В ближайшее время мы хотим внедрить голубиный контроль на небольшой пуговичной фабрике. Сейчас этим делом там заняты семь женщин.

— Допустим, голубь надежнее человека. Но ведь имеются и контрольные автоматы для разбраковки шариков. Они-то уж абсолютно надежны.

— Пока таких автоматов нет, и вряд ли они скоро появятся. Для этого их нужно обучить распознаванию образов, т. е. решить сложнейшую задачу современной кибернетики, снабдить автоматы высококачественной оптикой с большой разрешающей силой, составить для каждой детали свою программу. А голубь с детали на деталь переходит легко. На переучивание ему достаточно двух-трех часов".

И наконец, еще один интересный аспект предполагаемого использования голубей. Сотрудник Стэнфордского университета доктор Сонтаимер задался целью обучить голубей ... грамоте! Стаи по 26 голубей обучаются грамоте по весьма своеобразной системе: каждый голубь должен запомнить только одну определенную букву алфавита. Такие стаи собираются разместить в отделах всех крупнейших американских банков. Получив чек и "прочитав" фамилию лица, его подписавшего, голуби должны отстучать поочередно все буквы этой фамилии на клавишах специального автомата, который затем переправит чек для оплаты в автоматизированную бухгалтерию.

Конечно, можно заставить сами автоматы различать подписи и совершать требуемые операции, но такие автоматы стоят чрезвычайно дорого. Голуби же почти ничего не стоят, а расходы по их содержанию не идут ни в какое сравнение с зарплатой специалистов-контролеров.

Таким образом, вопрос о том, что, как и чем видит какая-либо особь, в настоящее время, когда могущественная электронная и вычислительная техника позволяет анализировать и моделировать чрезвычайно сложные устройства и функции биологических систем, представляет скорее утилитарный, чем чисто познавательный интерес. Приведенные выше примеры, нам думается, убедительно подтверждают это.

В ряду задач, стоящих перед бионикой, исследование и моделирование процессов зрительного восприятия, конструктивных особенностей зрительного анализатора человека

и животных занимают важнейшее место. Дело в том, что более 90% всей информации о внешнем мире поступает в бионическую систему через глаза. Недаром ученые называют глаза "мозгом, вынесенным на периферию".

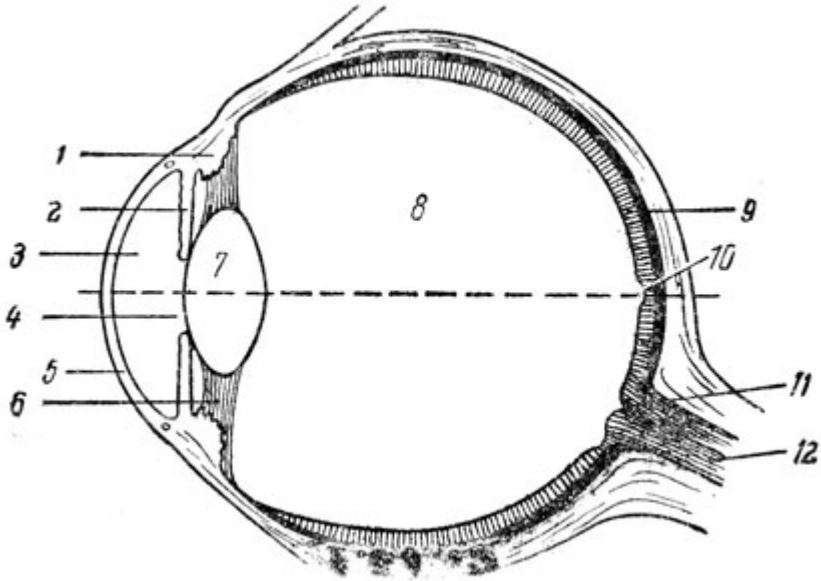


Рис. 4. Схема строения глаза человека. 1 — ресничная мышца; 2 — радужная оболочка; 3 — водянистая влага; 4 — зрачок; 5 — роговица; 6 — связка, поддерживающая хрусталик; 7 — хрусталик; 8 — стекловидное тело; 9 — сетчатка; 10 — центральная ямка; 11 — слепое пятно; 12 — зрительный нерв. Оптическая ось показана пунктиром

Бионические исследования зрительных анализаторов, созданных природой, — это не просто одно из центральных направлений молодой науки, это одно из тех немногих ее направлений, в котором специалисты ожидают наиболее быстрого выхода результатов научных изысканий в практику. Именно в этой области, где техника испытывает особенно острую нужду в новых идеях конструирования и новых принципах работы систем, живая природа располагает чрезвычайно широкой "номенклатурой" существенно различающихся по сфере деятельности и конструкций устройств, техническое воспроизведение которых, по-видимому, надолго обеспечило бы наши потребности.

Возьмем наш зрительный анализатор (рис. 4). Сетчатка глаза воспринимает зрительную информацию примерно 130 миллионами одновременно работающих рецепторных клеток (125 миллионов палочек и 6,5 миллиона колбочек). В этих клетках под

действием света возникает возбуждение, которое по нервным волокнам передается зрительному анализатору, расположенному в коре затылочной доли мозга. Общее число нервных волокон в зрительном нерве достигает 1 миллиона, так что в среднем 1 волокно проводит возбуждения от 130 фоторецепторов. Диапазон чувствительности сетчатки тянется от энергии, равной нескольким квантам света[23], до энергии световых потоков, поступающих в глаз от Солнца. Если учесть, что минимально возможное количество световой энергии равно 1 кванту, а человеческий глаз способен зарегистрировать колебания световой энергии в 5 — 10 квантов, то можно сказать, что чувствительность сетчатки доведена почти до предела. Современная радиоэлектронная аппаратура тоже может регистрировать самые ничтожные колебания интенсивности света. Однако существенная разница заключается здесь в том, что технические системы дают возможность регистрировать такие слабые сигналы при температурах жидкого гелия, т. е. в условиях, когда "тепловой шум" окружающей среды практически равен нулю. Человеческий же глаз имеет такую феноменальную чувствительность при температурах порядка 20 ° Ц, Кроме того, восприятие неподвижных предметов обеспечивается мелкими подергиваниями глаза, которые происходят непрерывно даже в те моменты, когда наблюдатель стремится фиксировать взгляд на какой-либо неподвижной точке. Частоты этих подергиваний лежат в пределах от 1 до 150 гц. Наконец, при рассматривании крупных объектов оба глаза строго синхронно совершают с большой угловой скоростью (до 400 ° в секунду) скачки от одной точки изображения к другой. При этом время рассматривания объекта распределяется следующим образом. На скачки затрачивается около 3% всего времени, а остальные 97% времени взгляд оказывается фиксированным на тех или иных наиболее ярких и важных элементах изображения. При рассматривании движущихся объектов глаза передвигаются с угловой скоростью, равной угловой скорости движения объекта относительно наблюдателя. Такое непрерывное слежение за объектом перемежается периодическими скачкообразными движениями глаза, имеющими своей целью корректировку ошибок. Благодаря бинокулярному зрению мы видим предметы объемно, телесно, можем определять расстояния между ними и их отдаленность. Наконец, наши глаза способны различать оттенки цветов — они воспринимают голубизну морской волны и зарево заката, золото осеннего листа и палитру Левитана.

Мы перечислили далеко не все особенности нашего зрительного анализатора. Но и они при глубоком исследовании

могут дать ключ к решению ряда важнейших технических задач.

По аналогии с глазом можно было бы создать системы автоматического управления количеством света, падающим на фоточувствительный прибор, что обеспечило бы равномерную чувствительность системы в широком диапазоне. Представляет интерес также разработка методов кодирования данных о скорости перемещения сканирующего луча в устройствах, воспринимающих изображения. Можно создать и автоматический определитель глубины пространства (скажем, для анализа аэрофотоснимков).

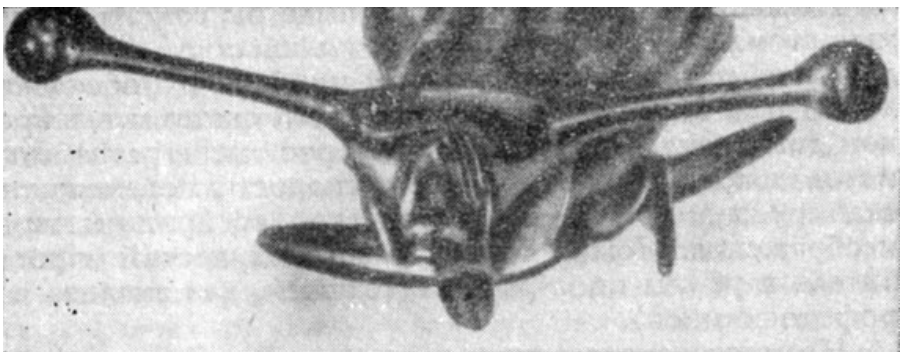


Рис. 5. Муха диопсида с глазами, расположенными на концах длинных 'рогов'

На многовековом пути развития живых существ их органы зрения непрерывно изменялись, совершенствовались. Ястреб и орел, например, способны с большой высоты различать движение даже мелких животных, некоторые другие хищники видят в сумерках. Хорошо развитые глаза имеют многие морские черви. Кальмар и осьминог обладают глазами камерного типа с линзами (хрусталиками), способными устанавливаться на дальнее и ближнее зрение и создавать довольно точные изображения всех окружающих объектов. Несколько лет назад вблизи Орегонского побережья из океанских глубин извлекли неизвестную ранее рыбу. Биологи обратили внимание на ее своеобразные выпученные глаза. Присмотревшись внимательнее, они пришли к удивительному выводу: обитатель глубин, получивший название батилихнопуса, обладал двумя парами глаз. Верхняя пара глаз, как полагают ученые, может обозревать то, что находится над рыбой и за ней, а нижняя пара глаз, обладающих высокой чувствительностью, направлена вниз. Эта дополнительная пара помогает их хищному обладателю охотиться во мраке больших глубин. Вторая пара у батилихнопуса, по-видимому, представляет собой уникальное исключение у позвоночных животных и тесно

связана с развитием стереоскопического зрения. Зато в царстве насекомых многоглазие не редкость. У некоторых из них дополнительные глаза представляют собой просто пигментированные пятнышки, у других, например у некоторых пилильщиков, дополнительные глаза покрыты прозрачными линзообразными утолщениями кожи. У третьих поверхность глаз обладает различной кривизной, так что одна пара видит лучше в горизонтальной плоскости, а другая — в вертикальной. Прекрасно развиты глаза у бабочек. Так, ночные бабочки бражники способны различать тонкие оттенки цвета в сумерках при таком слабом освещении, когда человек не может разглядеть даже основные тона. Очень оригинальны глаза у мух диопсид. Эти насекомые с длинными рогами на голове живут у нас в Сибири и на Кавказе. Их глаза расположены на концах "рогов" на вытянутых в стороны длинных стеблях. Глаза диопсид (рис. 5) работают так же, как... артиллерийский дальномер (расположение глаз на стебельках обеспечивает чрезвычайно широкоугольное пространственное зрение и тем самым облегчает ориентировку насекомого в воздухе).

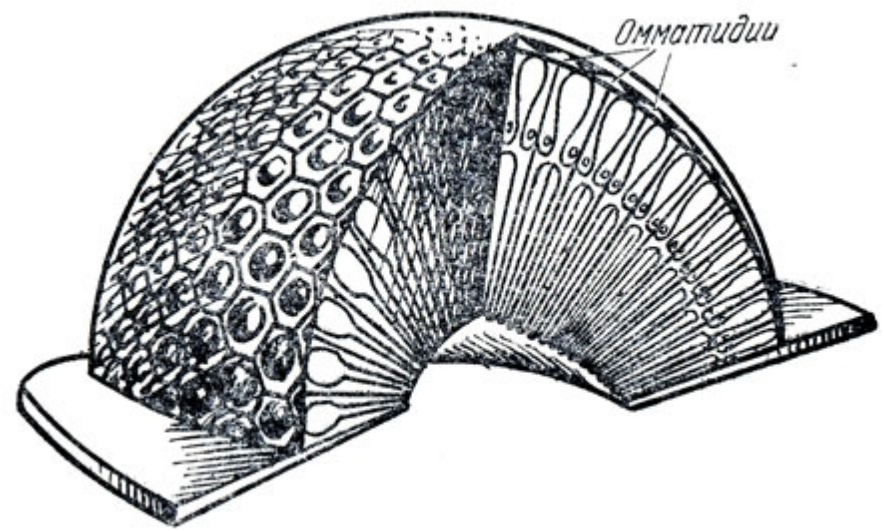


Рис. 6. Фасеточный глаз в разрезе

Говоря о тех или иных достоинствах устройства глаз, механизма зрения различных животных, нельзя не отметить, что природа особенно много выдумки и изобретательности проявила при создании органов зрения насекомых. И не случайно в бионике уделяется повышенное внимание изучению зрительного анализатора членистоногих. Насекомые обладают так

называемыми фасеточными глазами, т. е. сложными глазами (рис. 6), состоящими в среднем из 5 — 10 тысяч зрительных единиц — омматидиев — изолированных друг от друга секторов, каждый из которых воспринимает лучи, идущие только параллельно его оси. Лучи же, падающие под углом к этой оси, поглощаются боковыми стенками. Такой глаз не дает единого изображения, а создает мозаику, в которую каждый элемент глаза вносит отдельное изображение. Результат можно представить себе как нечто довольно похожее на фотографию, отпечатанную на газетной бумаге. Таким образом, насекомые распознают не столько детали объектов, сколько их движение. Поскольку любое движение добычи или врага немедленно улавливается одним из элементов глаза, такого рода орган удивительно соответствует образу жизни членистоногих. Мозаичное зрение облегчает насекомым передвижение по прямой, так как для этого им достаточно сохранять изображение Солнца в одном из омматидиев. Низкую пространственную разрешающую силу фасеточного глаза, обусловленную малым числом рецепторов, в известной мере компенсируют его исключительно высокая разрешающая способность во времени. Так, при прерывистом освещении подвижные, быстро летающие насекомые (стрекозы, мухи, насекомые семейства пчелиных) различают отдельные вспышки при их частоте до 200 — 300 вспышек в секунду, что свидетельствует о малой инерционности фасеточного глаза. Зрительный анализатор насекомых обладает чрезвычайно большой чувствительностью к контрастам. Так, глаз насекомого сигнализирует зрительным центрам о таких малых различиях во внешней обстановке, которые вызывают изменение освещенности зрительных клеток на 1% и даже на 0,5%. Фасеточный глаз, особенно у ночных насекомых, способен к очень сильной адаптации: он изменяет свою чувствительность на 4 — 5 порядков и, следовательно, может функционировать в очень широких пределах освещенности. Фасеточный глаз реагирует не только на изменение интенсивности света, но и на изменение его спектрального состава, т. е. он может осуществлять цветовое зрение. Очень многие насекомые "видят" ультрафиолетовые лучи.

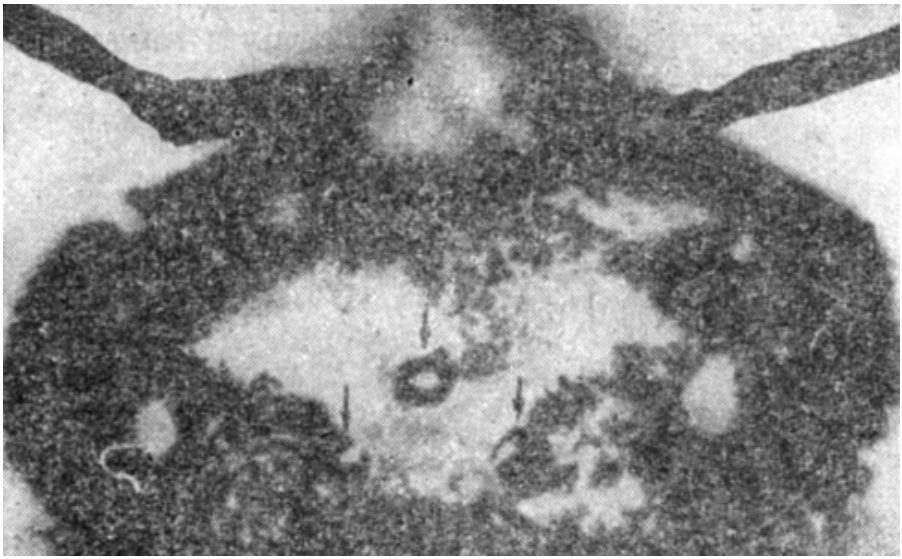


Рис. 7. Пчелиный 'фотометр' (стрелками показаны одиночные глаза на голове пчелы)

Человеческий глаз, как известно, воспринимает электромагнитные колебания в области от 0,4 до 0,8 мк, тогда как у многих насекомых нижняя граница этой области доходит до 0,3 мк. Пчелы, мухи и муравьи воспринимают ультрафиолетовое излучение. Правда, пчелы не "знают", что такое красный цвет. Алые цветы они выделяют среди прочих по другим признакам, например по интенсивности отраженных ультрафиолетовых лучей, так что алая роза или красный мак имеют для пчел "ультрафиолетовую" окраску.

Как ориентируются в своих длинных перелетах пчелы? Каким образом, пролетев очень большие расстояния, они находят дорогу к своему улью? Направление полета пчелы определяет все тот же фасеточный глаз.

У пчел и шмелей, кроме отчетливо видных фасеточных глаз, есть еще три малозаметных простых, одиночных, глаза (рис. 7). Назначение этих глаз до последнего времени объясняли по-разному: либо как вспомогательные органы для видения на расстоянии или фиксирования положения цели, либо как органы, определяющие интенсивность освещения. Недавно получены сведения, подтверждающие последнее предположение.

Опыты показали, что благодаря своим одиночным глазам — прекрасным фотометрам — пчелы различают степень освещенности (в пределах от 1,5 до 5 люксов), по которой они определяют время вылета утром за взятком и возвращения в улей вечером. Пчелы с заклеенными одиночными глазами вылетали позже и возвращались в улей раньше, чем контрольные. Если

заклеивался только один одиночный глаз, то вылет и последнее возвращение в улей совершались при освещенности, вдвое большей, а в случае ослепления всех трех глаз — в 4,5 раза большей, чем в контрольном опыте. Выключение этих глаз не влияло на поведение пчел в течение дня. Интересно, что в нормальных условиях эти удивительные существа начинают свой последний вечерний путь в улей при освещенности, несколько превышающей ту, при которой они вылетали из него утром. Пчелы как бы учитывают продолжительность полета домой, чтобы прибыть к улью не позже того момента, после которого им станет трудно ориентироваться из-за недостаточной освещенности.

Одна из интереснейших возможностей зрительного аппарата насекомых — их способность видеть "быстрее", чем многие другие животные. Там, где человек видит какую-то промелькнувшую тень, та же пчела, например, отчетливо различает размеры и форму предмета. Временная разрешающая способность фасеточного глаза выше, чем у глаза человека.

Частота повторения вспышек, при которой они сливаются и создают у человека впечатление непрерывного света — 24 раз в секунду, — известна давно и используется в кино, телевидении, для измерений, основанных на стробоскопическом эффекте, и т. д. Насекомые же — мухи, пчелы, осы — не смогли бы смотреть ни кинофильмы, ни телевизионные передачи. При изучении их зрения оказалось, что частота повторения световых импульсов, при которой они сливаются в непрерывный свет, примерно равна 300, т. е. в 10 с лишним раз больше, чем у человека; поэтому насекомые видели бы на экране совершенно раздельные кадры, не сливающиеся в цельное изображение.

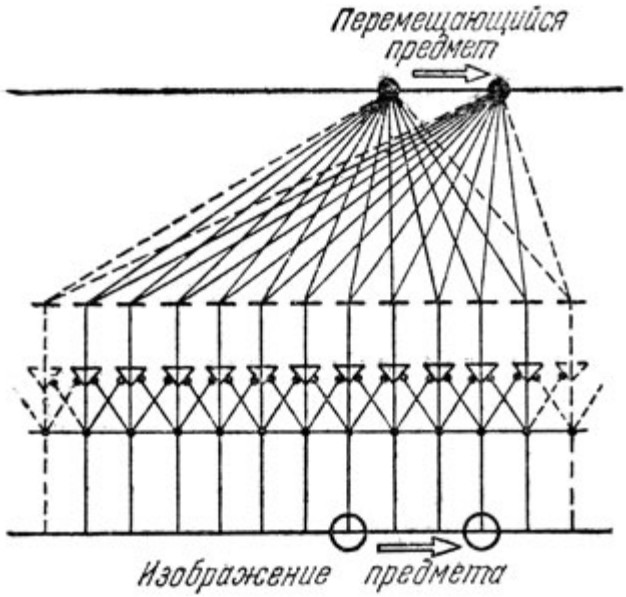


Рис. 8. Схема работы фасеточного глаза. В мозг насекомого поступает сигнал от изображения предмета, находящегося напротив ближайшего омматидия

Чем замечательно это свойство фасеточного глаза? Человек различает форму движущегося тела только в том случае, если изображение задерживается на сетчатке в течение 0,05 сек. Если время экспозиции меньше, то различить контуры отдельного изображения уже не удается, а одинаковые изображения сливаются в одно. У мухи же или у осы это время равно 0,01 сек. Измерение центрального угла омматидия мухи позволяет заключить следующее: если муха летит со скоростью 5 м/сек, то предмет диаметром 1,25 см, находящийся на расстоянии 1 м, будет восприниматься каждым омматидием в течение 0,01 сек, и, следовательно, будет виден очень отчетливо. Человек же увидел бы только промелькнувшую мимо тень. Для насекомого в единице времени больше мгновений! Процессы, кажущиеся человеку очень быстрыми, для насекомых идут гораздо медленнее, представляются расчлененными. С этим связана и чрезвычайно быстрая, непостижимая для человека скорость реакции насекомого.

Ничтожная инерционность зрительного восприятия насекомого в сочетании с одной особенностью фасеточного глаза представляет для бионики особый интерес. Дело в том, что в каждом омматидии, как отмечалось выше, возникает одно изображение предмета, находящегося в поле зрения, а значит, во всем фасеточном глазе — целая серия независимых друг от друга

изображений. Однако, несмотря на это, мозг насекомого воспринимает лишь одно изображение — то, которое возникло в ближайшем к предмету омматидии. Изображения в остальных омматидиях блокируются (рис. 8). Любой перемещающийся предмет последовательно попадает в поле зрения различных омматидиев. Таким образом, животное оказывается в состоянии определить скоростьдвижения этого предмета.

Глаз мухи и послужил прототипом для прибора, способного измерять мгновенную скорость самолетов, попадающих в поле его зрения. На рис. 9 изображена упрощенная схема такого прибора, состоящего из двух омматидиев.

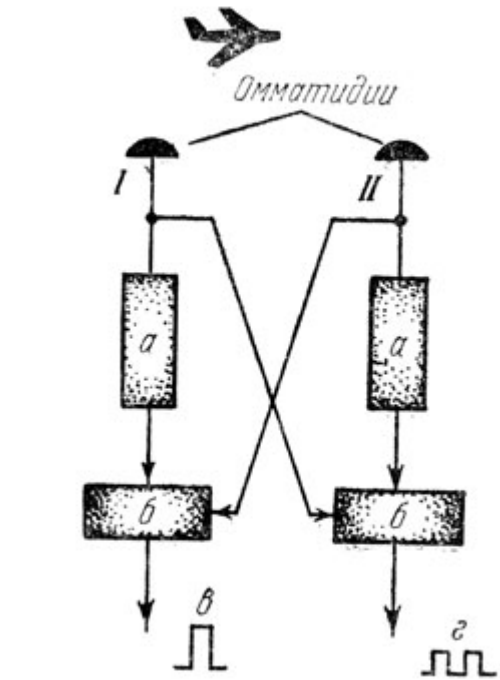


Рис. 9. Упрощенная электронная модель двух связанных омматидиев. а — задержка; б — суммирующий каскад; в — импульс с двойной амплитудой; г — два импульса с ординарной амплитудой

Когда самолет движется слева направо, возбуждается сначала первый омматидии. Импульс возбуждения поступает сразу на сумматоры первого (I) и второго (II) омматидиев. Но на сумматор II он попадает сразу, а на сумматор I — через линию задержки. Пока импульс находится в задерживающем устройстве I, самолет успевает переместиться в поле зрения омматидия II. Новый импульс возбуждения (теперь уже от второго омматидия)

попадает в сумматор I сразу, а в сумматор II — через линию задержки. Когда второй импульс поступает в сумматор I, он складывается там с первым, который к этому времени прошел линию задержки. В результате сложения импульсов от первого омматидия идет один импульс с двойной амплитудой, от второго — два разных импульса с ординарной амплитудой, так как второй импульс поступает с линии задержки в сумматор II тогда, когда первый импульс уже прошел через него. Если бы самолет двигался в противоположную сторону, то сигнал с двойной амплитудой поступил бы с омматидия II, а два сигнала с ординарной амплитудой каждый — с омматидия I.

Счетно-решающее устройство, моделирующее мозг насекомого (на рисунке не показано), анализирует интервалы между сильными и слабыми сигналами, определяя скорость самолета.

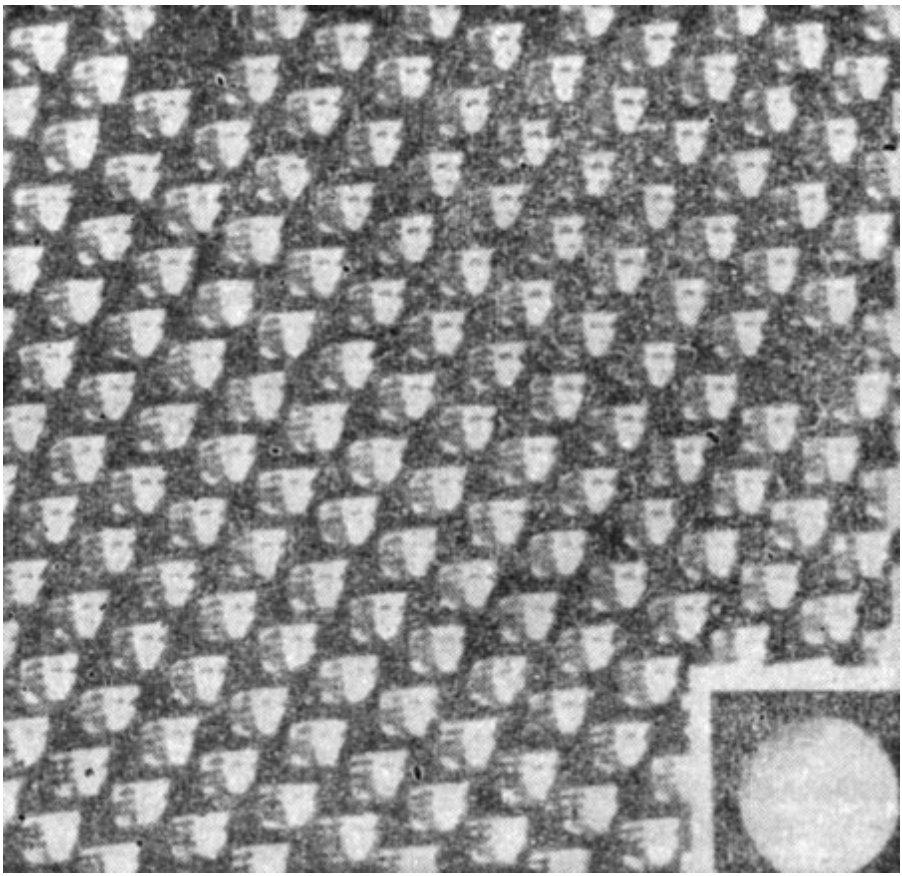


Рис. 10. Линзы фотокамеры 'мушиный глаз'

Два года назад одна американская фирма создала фотокамеру "мушиный глаз" для репродукции особо точных

микросхем электронных счетно-решающих машин. Свое название камера получила от объектива, похожего по своей структуре на ячеистую структуру фасеточного глаза мухи. Линза, вернее, 1329 линз, объединенных в один плоский диск (на рис. 10 — в правом нижнем углу), дают множество изображений, что обеспечивает разрешающую способность лучшую, чем 4000 линий на 1 см. Главное достоинство новой камеры "мушиный глаз" — большая скорость съемки, что позволяет получить за кратковременную экспозицию более 1300 изображений одного объекта.

Недавно ученые обнаружили, что глаза мечехвоста обладают уникальной способностью усиливать контраст между краем видимого объекта и фоном картины. Сигнал зрительного нерва, создаваемый относительно ярким светом, блокирует сигналы, порождаемые относительно слабым светом. В настоящее время ученые пытаются создать электронное устройство, которое могло бы имитировать механизм глаза мечехвоста. Они рассчитывают использовать это устройство в телевизионной установке, которая "просматривала" бы рентгеновские снимки, пленку, заснятую с воздуха, или, возможно, снимки Луны. Поскольку такое устройство должно усиливать контраст на краях объектов на снимках, телевизионное изображение будет легче изучать и анализировать.

Специалисты другой американской фирмы работают над следующей проблемой бионики. Они изучают "третий глаз" рака — некий светочувствительный орган, находящийся на хвосте животного; этот орган позволяет раку "видеть" то, что происходит позади него, и находить темные места для укрытия.

Природа чрезвычайно изобретательна. Настолько изобретательна, что "принцип действия" многих из созданных ею систем до сих пор не вполне ясен специалистам. Одна из проблем — зрение высших животных и, в частности, цветовое зрение.

Известен такой древний рассказ. Александр Македонский, хмурясь, рассматривал некую картину, на которой он был изображен верхом на своем знаменитом коне Буцефале. Свой портрет полководец весьма одобрял, но вот конь... Александр выразил свое неудовольствие художнику. Последний оскорбился и потребовал, чтобы к картине подвели коня. Историки утверждают, что, увидев свое изображение, Буцефал обрадовался и стал бить копытами, взволнованный своей импозантностью.

Достоверность этой истории весьма сомнительна. Однако здесь интересно другое: видят ли животные формы и краски так же (или почти так же), как люди?

Выяснением этого вопроса занялся немецкий зоолог Б. Гримек. И вот что оказалось. Кони принимают чучело лошади за

живое существо, за своего сородича. Этот факт кажется совершенно непонятным, если учесть, что у лошадей высоко развито чувство обоняния.

Результат другого эксперимента еще более удивителен. Нарисовав на большом листе бумаги лошадь в натуральную величину, Гримек прибил эту картину к деревянному щиту и поставил его у стенки. Лошади реагировали на портрет своего сородича очень живо. Они толпились вокруг, старались коснуться мордой головы "лошади" — заводили знакомство. Казалось, их совсем не беспокоило, что от рисунка пахнет лишь бумагой и масляной краской. Эти опыты были проделаны в манеже. А на открытом пространстве лошади просто не замечали портретов.

Львы нападали на чучело зебры и, только принявшись рвать его, обнаруживали ошибку. Когда гепарду показывали фильм об антилопах, он бросался на экран с такой яростью, что если бы он не был привязан, то наверняка изорвал бы экран в клочья.

А как обстоит у животных дело с цветоощущением? Исследования показали, что цветную картину мира, подобную той, которую видим мы, "созерцают" далеко не все живые организмы. Наш глаз можно назвать первоклассной "лейкой", заряженной чрезвычайно чувствительной цветной пленкой; по сравнению с ним, например, глаз кальмара или осьминога — это простая фотокамера с малочувствительной черно-белой пленкой. Собаки и кошки, как показали опыты немецкого ученого Дуэккера, почти не различают цветов, совершенно нечувствительны к ним крысы, хомяки, мыши и кролики. Зрительное восприятие дождевого червя ограничивается в лучшем случае определением направления на светящееся тело. Не только цветного, но и черно-белого изображения для червя не существует. А вот олени отличают серый цвет от других. Кони, овцы, свиньи, серны, белки и куницы различают цвета, но только в некоторых областях спектра. Большинство обезьян различает множество цветов. Особенно велика чувствительность к цвету у шимпанзе. Восприятие цвета зависит от числа и спектральной характеристики приемников, имеющихся в светочувствительных клетках зрительного анализатора того или иного животного. Так, светочувствительные клетки морской свинки обладают одним приемником, поэтому перед ней окружающий мир предстает в виде черно-белой фотографии. У черепахи два приемника, и она смотрит на мир как бы сквозь зеленые очки. Зрение пчел, так же как и человека, трехцветно. Иначе говоря, у них есть приемники, "настроенные" на три разных цвета, и все богатство красок воспринимается как определенная комбинация трех основных цветов. Но если для человека основными являются красный,

синий и зеленый, то для пчелы это сине-фиолетовый, желто-зелено-оранжевый и... ультрафиолетовый. Да, именно так. Пчела, как мы уже знаем, "видит" незримые для нас ультрафиолетовые лучи, и это помогает ей различать цвета, неразличимые для человека. Так же, как и у человека, зрительный аппарат пчелы снабжен сложнейшим автоматическим регулятором, обеспечивающим независимость окраски от условий освещения. Именно поэтому пчеле, так же как и нам, желтый предмет кажется желтым даже тогда, когда под действием изменившегося солнечного освещения он будет в основном отражать зеленые лучи. Цветовым зрением обладают жуки, мухи и даже древнейшие насекомые — стрекозы. Огромные ячеистые глаза последних, как это удалось недавно установить, обладают интересными особенностями. Оказывается, нижняя их часть ощущает цвета, а верхняя видит все однотонным, причем с наибольшей чувствительностью в голубой области спектра. Это еще раз свидетельствует о том, что природа формировала зрительные анализаторы живых существ не только весьма "продуманно", но и очень рационально, экономно. Действительно, верхняя часть глаза стрекозы всегда смотрит вверх и ей нужно заметить лишь черную мошку на фоне голубого неба. Поэтому цветовое зрение в верхней части глаза было бы для стрекозы уже излишеством!

Как мы видим, за многие годы кропотливых исследований ученые собрали немало ценных сведений о цветовом зрении живых существ. Но большая часть добытых данных имеет чисто описательный характер. Для того же, чтобы создать модель органа зрения, которая могла бы различать цвета или опознавать образы, необходимо знать, как работает зрительный анализатор. Как удается, например, человеку отличить красный цвет от зеленого или различные оттенки одного цвета? Почему смесь основных цветов воспринимается как белый цвет? Каким образом человек опознает образы — отличает, например, стакан от чашки или узнает своих знакомых?

Исследование этой проблемы имеет первостепенное значение прежде всего для понимания работы мозга. Ведь все наше существование протекает в непрерывном контакте с окружающим миром, и, следовательно, наше поведение определяется им все время, без каких-либо исключений. С другой стороны, поскольку количество информации, доставляемой нам зрительно, по крайней мере в 1000 раз превосходит количество информации, получаемой остальными органами чувств, следовало бы использовать принцип организации зрительной системы человека для построения "видящих" автоматов. В отличие от обычной

телевизионной системы, передающей только изображения, такие автоматы должны были бы обнаруживать и опознавать те или иные объекты, выполняя до известной степени те же функции, что и зрительная система. Наши глаза всегда готовы воспринять любую частоту из видимого спектра. Они обладают поистине фантастической способностью различать оттенки цвета независимо от того, к какой области видимого света он относится. Специалисты установили, что глаз человека различает около 17 000 оттенков. Вполне возможно, что даже эта цифра преуменьшена и зрение человека еще чувствительнее. А если учесть, что число различимых оттенков может доходить до... 100 миллионов (одних оттенков красного — почти 8 миллионов!), то не подлежит сомнению, что создание автоматов по образу и подобию нашего зрительного анализатора беспредельно расширило бы возможности современной измерительной техники.

Пока еще сведения о психофизиологии зрения совершенно недостаточны для полного описания процессов цветоощущения и опознавания. Человек обычно не может объяснить, как он распознает образ. Пока физиологам и психологам известны лишь отдельные качественные стороны этого процесса, но не правила и методы, которыми пользуется человек. Не все аспекты зрения человека изучены одинаково подробно, и еще не все здесь достаточно ясно, особенно в отношении механизмов зрительного восприятия. Однако результаты многочисленных экспериментальных исследований, проведенных в последнее время, позволяют все же уже сейчас интерпретировать некоторые особенности этого процесса.

Известно, что в человеческом глазе цветовым зрением ведают клетки сетчатки — колбочки. Известно также, что у человека можно создать ощущение любого цвета, действуя смесью всего трех цветов — красного, зеленого и синего. Свет с длиной волны 0,66 мк — красный, 0,57 мк — желтый. Именно эти цвета и увидит глаз, если его осветить излучением сначала с одной длиной волны, а затем — с другой. Но как только красные и желтые лучи попадут на сетчатку одновременно, мы воспримем это так, словно глаз был освещен единственным источником света с длиной волны... 0,6 мк — оранжевым светом. Но само "смешение сигналов" с разными длинами волн происходит в глазу отнюдь не по тем же законам, на основании которых проектируются супергетеродинные приемники и частотные конверторы. Здесь все несравненно сложнее.

Еще в 1802 г. английский ученый Юнг высказал предположение, которое было развито знаменитым немецким

естествоиспытателем Гельмгольцем: глаз различает цвета потому, что колбочки сетчатки представляют собой чувствительные элементы, реагирующие на красный, зеленый и синий свет.

Экспериментально были получены кривые зависимости чувствительности "красных", "зеленых" и "синих" элементов сетчатки к излучению разной длины волны. По ним легко определить, какой из элементов будет возбуждаться сильнее, когда на сетчатку падает свет той или другой длины волны, какой — слабее, и выяснить, какой цвет увидит человек при попадании в глаз нескольких лучей разного цвета.

Если подобрать цветные лучи так, что все три чувствительных элемента глаза будут возбуждаться одинаково, человек увидит белый цвет. Другими словами, цветной луч мы видим во всех случаях, когда цветочувствительные элементы — колбочки — возбуждены неодинаково.

А каким образом они возбуждаются? Как мозг узнает о том, какая из колбочек возбуждена — "красная", "зеленая" или "синяя"? Уже много лет существует хорошо аргументированная фотохимическая теория зрения, которая состоит в следующем.

Попадая в глаз, световые лучи вызывают разложение светочувствительных веществ, содержащихся в колбочках, — зрительных пигментов. Освобождающаяся при этом энергия вызывает нервный импульс. Однако полный набор пигментов, находящихся в колбочках, и их природа пока неизвестны. Не вполне ясен пока и механизм возникновения возбуждения и его передачи от колбочек к мозгу. Исследования этих процессов привели к неожиданным результатам.

Возбуждение нервного волокна, связывающего колбочку с соответствующим участком головного мозга, как и любого другого нервного волокна, состоит в изменении электрического потенциала клеток, из которого оно состоит. Электрический потенциал клетки непостоянен. В тот момент, когда она из спокойного состояния переходит в возбужденное, наружная сторона клеточной поверхности становится отрицательно заряженной по отношению к внутренней. Импульс длится одну-две десятитысячные секунды. Затем вновь восстанавливается первоначальное состояние. Возбуждение клетки всегда сопровождается изменением ее потенциала.

М. М. Бонгард и А. С. Смирнов предположили, что информация о цвете, воспринимаемом колбочками, заложена в характере изменения потенциалов нервных волокон зрительного нерва.

Измерения потенциалов нервных клеток проводились с помощью микроэлектродов — миниатюрных стеклянных

капилляров, заполненных раствором, хорошо проводящим электрический ток. Прочные стеклянные стенки изолируют электролит вплоть до самого кончика электрода. Такой микроэлектрод погружают в клетку и соединяют с другим, расположенным снаружи, через весьма чувствительный прибор. Таким образом удается с достаточной точностью измерять клеточные потенциалы, но только в том случае, если диаметр кончика электрода не превышает 0,5 мк. Стоит его увеличить до 1 мк — и он будет повреждать клетку при погружении — вскоре после "укола" клетка погибнет. Исследователей интересовало не столько статическое распределение потенциалов по клетке, сколько характер их изменения при облучении глаза разным светом, поэтому в качестве измерительного прибора был использован осциллограф. Экспериментировали с глазами обыкновенной травяной лягушки. Причем сначала ученые даже не знали, умеет ли лягушка различать цвета!

С изменением окраски пучка света, падавшего в глаз, менялись и биотоки сетчатки. Но не всегда. Иногда цвет менялся, а глаз лягушки на это не реагировал. Так удалось выяснить, что у лягушки только два типа цветочувствительных элементов — "голубые" и "красные" — и смесью этих двух цветов у нее можно вызвать ощущение любого цвета. Лягушка видит примерно так же, как и люди-дальтоники, у которых в сетчатке всего два типа цветоприемников. Но тем не менее цветовое зрение у лягушки есть.

Как и предполагали исследователи, оказалось, что при воздействии пучками разного цвета нервные волокна передают разные сигналы — одного вида при красном свете и другого при голубом. На красный свет волокна отвечали короткой серией импульсов, частота повторения которых заметно уменьшалась со временем, а при достаточной длительной экспозиции импульсы пропадали совсем. При облучении глаза синим светом частота импульсов, передаваемых нервным волокном, изменялась медленнее. Итак, различие в характере сигналов, возникающих при облучении глаза светом разного цвета, было установлено экспериментально.

И сразу же возникла идея о способе моделирования цветового зрения. При проведении опытов было замечено, что законы, по которым нарастает ток фотоэлемента при облучении его синим и красным светом, неодинаковы. (С помощью фотоэлемента экспериментаторы контролировали яркость света, которым облучали лягушку.)

Оказалось, что при облучении синим светом скорость нарастания тока фотоэлемента значительно больше, чем при

облучении красным. И это наблюдение оказалось весьма полезным. В самом деле, ведь такой прибор можно использовать в качестве цветочувствительного органа, сигналы которого позволят определить, какой цвет он "видит". Для этого следует только подать снимаемые с него импульсы на некоторое устройство, которое могло бы разделять их по крутизне фронтов. Если проходит импульс с крутым фронтом, устройство "решает", что фотоэлемент освещается синим светом; если фронт растянут, значит, свет красный.

Такая модель была создана. И она безошибочно отличала красный свет от синего, но только в том случае, если энергетическая яркость обоих пучков оставалась постоянной. Если же яркость пучка синего света постепенно увеличивалась, то модель ошибалась и называла его красным. И с этим ничего нельзя было сделать: ведь для модели соответствующее такому изменению освещенности медленное нарастание тока фотоэлемента служит признаком именно красного цвета. Попутно выяснилось, что человеческий глаз тоже делает такого рода ошибки. Далее. При длительной экспозиции ток фотоэлемента в весьма короткое время достигает некоторой установившейся величины (время нарастания импульса), и только в этом интервале времени модель может определить, красный ли свет падает на нее или синий. По величине установившегося тока об этом судить нельзя. Но и здесь налицо аналогия с особенностью человеческого зрения. Ведь мы видим неподвижные предметы только благодаря непрерывному подергиванию глазных яблок — тремору. Был проделан такой опыт. Непосредственно к глазному яблоку прикреплялся с помощью присоски небольшой диапозитив. Естественно, что он двигался вместе с глазом и на сетчатку проектировалось его неподвижное изображение. И человек переставал видеть картинку, не говоря уже о ее расцветке.

Почему для зрительного восприятия неподвижных предметов нужен тремор? Фотохимическая теория зрения на этот счет не может дать никаких объяснений. А вот почему фотоэлемент (в котором не происходит химических реакций, но с помощью которого модель тем не менее различает цвета) выдает информацию о цвете только за время установления процесса, это ясно из предыдущего. Кстати, роль мышцы, двигающей глаз и таким образом делающей видимыми неподвижные предметы, может в модели с успехом исполнять, например, обтюратор кинопроекционного аппарата.

Итак, ученым удалось создать устройство, обладающее цветовым зрением, но эта функция моделируется без помощи

каких бы то ни было фотохимических реакций. В приборе используется фотоэффект. На этом основании авторами исследования была выдвинута новая, фотоэлектрическая теория зрения. Однако ни старая — фотохимическая, ни новая — фотоэлектрическая теории не могут пока удовлетворительно объяснить ряда экспериментальных данных, касающихся устройства и функционирования органов зрения. Накопление фактов и обобщения делаются во многих лабораториях мира. Результаты не должны заставить себя ждать.

Цветоощущение — это лишь одна сторона проблемы зрения. Другой ее аспект, давно привлекший внимание ученых, — возможность моделирования узнавания, или, как говорят специалисты, работающие в этой области, опознавания образов.

Опознавание образа заключается в выборе одного образа из системы образов, накопленных и классифицированных по определенным признакам. Для человека — это выбор из системы образов, сложившихся в течение его жизни.

Проделаны эксперименты, однозначно подтверждающие первостепенную роль выбора в процессе опознавания. Подсчитано, что число образов типа "печь", "стул", "стол" и т. д. составляет у взрослого человека всего около 1000. Достаточно четкое изображение любого из этих предметов-образов будет с большой долей вероятности (или попросту — почти наверное) опознано человеком. Как нам это удается?

Каждый светочувствительный элемент сетчатки человеческого глаза (палочки и колбочки) воспринимает проектируемое на нее хрусталиком изображение, образуя своеобразное мозаичное панно. Каждый элемент мозаики имеет определенный тон — от черного до белого. В самом деле, ведь палочки и колбочки расположены на некотором расстоянии друг от друга и реагируют на яркость только того участка объекта, который проектируется на каждую из них в отдельности. Поэтому падающее на сетчатку изображение имеет вид густо расположенных точек, отличающихся по яркости, а расстояние между ними соответствует расстоянию между светочувствительными элементами. Такое изображение очень похоже на обыкновенное газетное клише. В нем яркость отдельных элементов не изменяется хаотически, а в основном определяется распределением яркости по объекту. Весьма немногочисленные элементы изображения, соответствующие границе между разными по тону его участками, значительно отличаются по яркости от своих соседей.

Такие элементы образуют контурные линии, и именно с ними связана наибольшая часть информации. В этом легко убедиться,

если вспомнить, например, как легко по шаржу, дающему очень неполное представление об оригинале, узнать человека.

При опознавании сложного образа не требуется его расчленение на все простейшие конфигурации, из которых состоит сам образ, хотя, если это потребуется, зрительная система может детально проанализировать изображение, подобно тому как это делается в передающих телевизионных трубках. (Такая аналогия, разумеется, весьма поверхностна. Речь идет о том, чтобы просмотреть изображение "все как есть".)

Однако такое подробное рассмотрение изображения было бы избыточным. Для опознания образа необходимо выделить в его изображении лишь главное, первостепенное, устранив избыточность, которую создают детали, имеющие малую информационную ценность.

Избыточность может быть устранена путем исключения многократно повторяющихся сигналов от "статичной", не меняющейся информации — ведь не видят же лягушки неподвижных предметов. Кроме того, информация об образе кодируется. Применительно к зрительной системе (как и к любой другой системе обработки информации) кодирование представляет собой наиболее экономный способ описания образа.

Таким образом, зрительная система не просто переносит в наш мозг информацию о распределении яркости на отдельных участках сетчатки, а уже с момента, когда на ней появляется изображение, выделяет его характерные элементы, признаки, "не обращая внимания" на те его участки, которые не несут информации об увиденном. Мозг получает эту информацию и удерживает ее — человек запоминает образ.

Дальнейшее как будто несложно. В нашей памяти хранятся признаки некоторого количества образов, накопленные в процессе "обучения", т. е. попросту за время, прошедшее с тех пор, когда мы в раннем детстве стали "опознавать" окружающие нас предметы. Мозг, воспринимающий какой-либо образ, сравнивает признаки последнего с соответствующими признаками, хранящимися в памяти, и в случае обнаружения их сходства решает, что именно видит человек.

Однако на самом деле, для того чтобы облегчить опознавание, мозг еще раз обрабатывает информацию, поступающую от зрительного анализатора, — человек формализует образ. Мозг продолжает работу, начатую органами зрения, — он выделяет из всех признаков, о которых в каждом случае сообщает глаз, лишь наиболее существенные, характерные для данного образа или группы образов. На основании этих сведений человек, видевший, например, овчарку и бульдога, с

уверенностью скажет, что такса — собака, несмотря на то что животные этих трех пород несколько отличаются друг от друга по внешности. Или, скажем, для ребенка, видевшего лошадь только лежащей или стоящей, не составит труда опознать ее, если она будет бежать.

В умении человека отвлекаться от несущественного заложена основа нормальной деятельности его мозга. Ведь если бы зрительный анализатор человека был подобен телевизионной системе, не сортирующей передаваемую информацию по степени важности, то многообразие впечатлений внешнего мира быстро переполнило бы его мозг. В самом деле, зрительный нерв состоит примерно из 1 миллиона волокон. По ним с сетчатки в течение 0,1 сек поступает в мозг такое же количество сведений об элементах изображения, а за несколько минут эта цифра возрастет до десятков миллиардов и превысит общее число нейронов в коре больших полушарий. Таким образом, емкость всего мозга, а не только его зрительных отделов, была бы израсходована в течение нескольких минут.

Так в чем же состоит трудность моделирования процесса опознавания? Ведь уже теперь существуют машины с памятью огромной емкости, которые могли бы запомнить колоссальное количество признаков и сравнивать по ним образы, подлежащие опознаванию. Что же касается избыточности информации в образах, то конструктор мог бы, вероятно, придумать некое устройство, которое устраняло бы ее. Так и поступают, когда создается машина, которая должна решать какую-либо одну задачу или узкую совокупность задач. Однако наличие у машины большой памяти нисколько не может помочь при моделировании опознавания по той причине, что для работы любой вычислительной машины нужно составить программу, в которой задача опознавания была бы полностью формализована. Таким образом, едва ли не самую важную часть "работы по опознаванию" должен проделать в этом случае сам программист.

Далее, ограничивая объем поступающей в машину информации, исключая все "ненужное", мы опять-таки выполняем за нее часть работы и при этом ограничиваем ее возможности. Ведь то, что в одной ситуации несущественно, в другой может оказаться весьма существенным.

Итак, для моделирования процесса опознавания необходимо создать машину, которая сама составляла бы для себя программу, сама определяла бы, что существенно для решения данной задачи, и не обращала бы внимания на избыточную (для данной задачи) информацию. Иными словами, конструировать обучающуюся машину следует так, чтобы она могла, подобно

человеку, накапливать в процессе обучения некоторый опыт и в соответствии с ним самостоятельно выбирать линию поведения и сортировать получаемую информацию по степени ее важности. Устройство, справляющееся с такими обязанностями, будет весьма близко к мозгу человека.

Однако моделирование психической деятельности человека — чрезвычайно трудная задача. Дело в том, что люди сами не знают достаточно подробно — а в этом случае именно подробности определяют успех дела, — как они учатся, как приобретают опыт, каким образом и какие именно признаки образов, хранящиеся в памяти человека, используются в процессе опознавания, как протекает этот процесс и т. д. Мозг функционирует "сам по себе", "автоматически", его работа проходит мимо нашего сознания, и ее очень трудно анализировать. Для того чтобы разобраться в деятельности мозга, необходимы обстоятельные физиологические и психологические исследования. Но уже тех сведений самого общего характера, которыми располагают специалисты сегодня, оказалось достаточно для создания первых, еще очень несовершенных, но тем не менее действующих обучающихся машин, которые могут опознавать образы. У нас и за рубежом уже построены машины, которые по окончании курса обучения могут уверенно опознавать рукописные знаки и простые геометрические фигуры, например круг и прямоугольник.

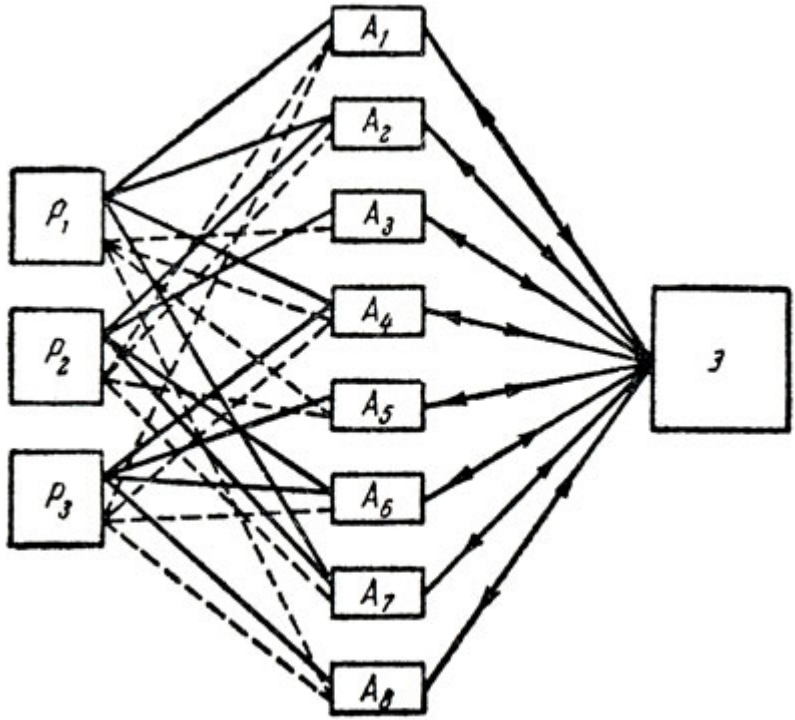


Рис. 11. Упрощенная схема перцептрона, поясняющая принцип его действия. Р — рецепторные (чувствительные) ячейки; А — ассоциирующие ячейки; Э — эффекторная ячейка

Одна из первых систем для опознавания геометрических образов была создана в США группой ученых под руководством доктора Розенблата. Система была названа перцептроном (от английского "perception" — восприятие), а ее первая модель — "Марк-1". Очень упрощенная схема модели представлена на рис. 11.

Электронноoптические преобразователи системы, воспринимающие световые сигналы от изображения и преобразующие их в электрические сигналы (эта часть системы воспроизводит функции светочувствительных элементов глаза — рецепторов), образуют матрицу из 400 рецепторов (фотоэлементов), каждый из которых имеет два выхода. При освещении фотоэлемента на одном из его выходов появляется положительный, а на другом — отрицательный сигнал. Каждый выход рецептора соединен с несколькими ассоциирующими ячейками (ячейками памяти), которых в системе 512. Эти соединения имеют совершенно случайный, беспорядочный характер: ведь физиологи, как известно, считают, что связи между

ассоциирующими клетками мозга также организованы без определенной системы, случайно.

Таким образом, сигнал от одного рецептора, скажем Рз, возбуждает не отдельный ассоциирующий элемент, в котором накапливается определенная информация, а, как видно из рис. 11, большинство элементов памяти. Если алгебраическая сумма сигналов, поступающих в какую-либо ассоциирующую ячейку от рецепторных, больше нуля и превышает некоторую пороговую величину (в простейшем случае — положительное напряжение, снимаемое с соответствующего выхода рецептора), то такая ассоциирующая ячейка возбуждается и посылает сигнал в эффекторную (реагирующую) ячейку. Суммарная величина сигналов, поступающих в эффекторную ячейку, сравнивается в ней с заранее установленным пороговым значением, и, если она оказывается больше порога, эффекторная ячейка срабатывает.

При этом может произойти ложное срабатывание (учитывая случайный характер монтажных соединений, оно вполне возможно), т. е. эффекторная ячейка может сработать, когда предъявленный перцептрону объект не должен опознаваться. Тогда оператор, занимающийся "обучением" перцептрона, изменяет параметры ассоциирующих ячеек (служащих аналогами нейронов) и добивается от устройства правильной реакции. Таким же методом вырабатывается правильная реакция перцептрона и в противоположном случае, когда подлежащий опознаванию объект остается неопознанным. После некоторого периода "обучения" перцептрон в дальнейшем "самостоятельно" принимает правильные решения. Блок-схема перцептрона приведена на рис. 12.

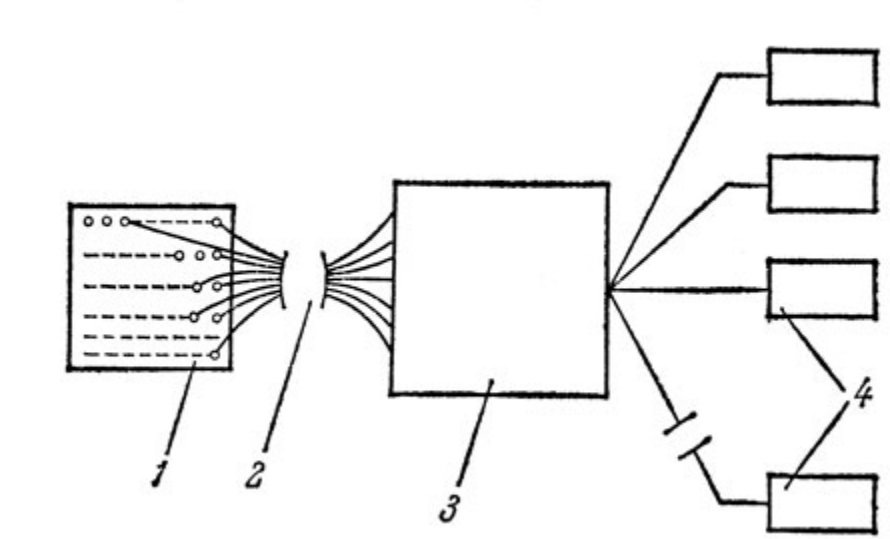


Рис. 12. Блок-схема перцептрона. 1 — поле рецепторов; 2 — случайные соединения; 3 — блок ассоциирующих ячеек; 4 — эффекторные ячейки

Американские военные проявили к новой машине живейший интерес. По заданию Управления исследований ВМФ США ее эффективность проверяли при расшифровке фотоснимков. Эксперименты показали, что перцептрон обеспечивает надежное опознавание "одиночных целей и целей, окруженных другими по форме объектами". Было отмечено, в частности, что опыты по опознаванию самолетов и ангаров оказались весьма успешными (100% случаев опознавания ангаров и 92% случаев опознавания самолетов в укрытиях). Исследования были проведены с целью повышения эффективности использования фотоснимков, сделанных с метеорологических и разведывательных спутников — "воздушных шпионов". Дело здесь в том, что в настоящее время для расшифровки фотографий, сделанных за один час работы аппаратуры разведывательного спутника "Самос", требуется затратить десятки тысяч человеко-часов. Поэтому результаты, подтвердившие эффективность первого перцептрона, были должным образом оценены и спустя некоторое время была начата разработка новой его модели "Марк-2"; число фоторецепторов в ней было увеличено в 10 раз, а емкость памяти — в 20 раз. Предполагается, что это должно значительно увеличить опознавательные способности перцептрона.

Но вернемся к модели "Марк-1". Она оказалась способной опознавать любую букву после того, как последняя была показана устройству 15 раз; после каждого верного ответа перцептрон получал "подтверждение" от эффекторов в ассоциирующие ячейки (за этим следил оператор, обучавший машину).

Читающие машины типа "перцептрон" до недавнего времени успешно справлялись только с печатными буквами или с буквами, написанными от руки, но печатным, очень четким шрифтом. При этом текст оказывался "по плечу" машине, если каждая буква или цифра была отделена от соседних промежутком. В противном случае перцептрон "терялся".

Это ограничение возможностей машины, вытекающее из несовершенства ее конструкции, уже преодолено: создана машина, способная читать обычный рукописный текст, в котором одна буква непосредственно переходит в следующую. Машина читает слова, написанные любым почерком, лишь бы он был разборчив. Интересен принцип построения, позволивший создать такую машину.

Следящий штифт воспринимающего устройства как бы сам

собой, а на самом деле с помощью весьма сложной автоматики, следует за темной линией, образующей букву. Электронное устройство учитывает, анализирует и ненадолго запоминает движения штифта. Далее машина сравнивает длину, высоту и кривизну отдельных элементов букв, а также расстояние между ними и порядок их следования с соответствующими элементами, которые она запомнила в процессе обучения, и, наконец, опознает буквы, читает их одну за другой.

Интересно, что при чтении рукописных текстов успех дела очень часто зависит от способности читающего угадать смысл небрежно написанного слова из связи с предыдущими и последующими, а угадывать приходится из-за одной-двух непонятных букв в слове. Машина справляется и с этой задачей. Когда читающее устройство сообщает о том, что написана некая буква, которая лишает слово смысла, другое устройство, которое следит за порядком в словах, заставляет штифт вернуться и прочесть ее заново. При чтении русского текста это устройство стало бы принимать меры, если бы ему было сообщено о слове, начинающемся с буквы "ь", сочетаниях типа "врж", "счп" и т. д.

Перцептроны представляют собой новый класс "интеллигентных" машин. Это определение может вызвать сомнения, но тем не менее оно отражает существо дела. Новые машины обучаются. При этом они запоминают, "усваивают" не все подряд, а только то, что необходимо для успеха дальнейшей "деятельности". Они анализируют, сопоставляют, обобщают. А это и есть то самое мышление, которое "выводит всеобщее из отдельных вещей", как говорил великий Авиценна. Машины, опознающие буквы и цифры, отличающие круги от треугольников, "мыслят", но еще в очень скромных масштабах.

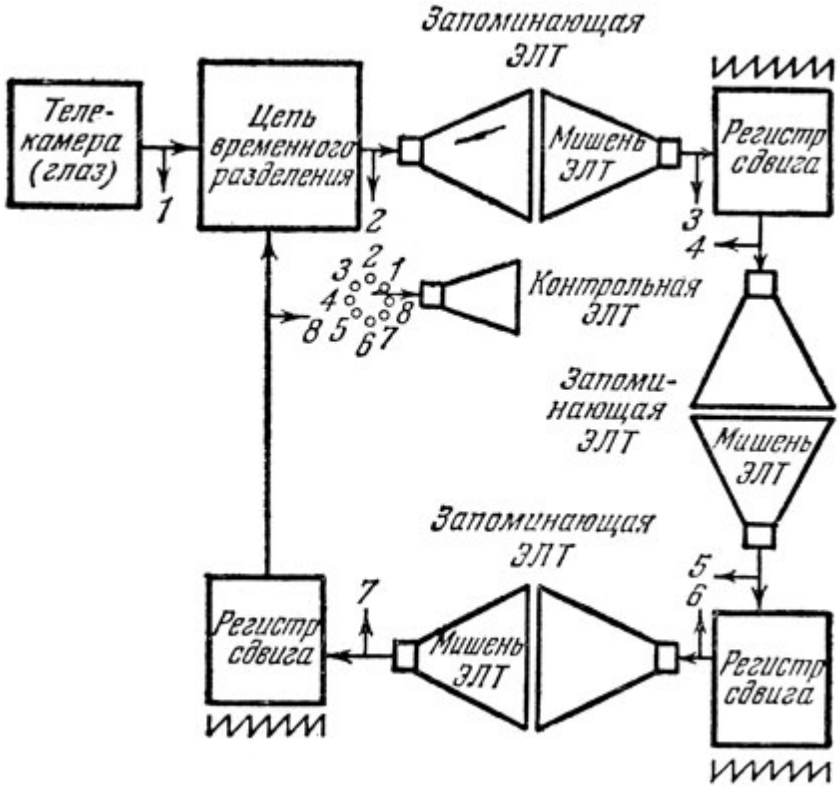


Рис. 13. Блок-схема электронной модели глаза

По последним сообщениям американской печати, в Лаборатории применения вычислительных методов в биологии Иллинойского университета разрабатывается электроннооптическая модель нервной сети человеческого глаза. В основу создаваемой модели будет положен метод параллельного счета, воспроизводящий особенности передачи информации от ганглиозных узлов сетчатки в соответствующие нервные центры коры больших полушарий головного мозга. Однако в настоящее время на первом этапе исследований отрабатывается экспериментальный образец последовательной модели нервной сети глаза, состоящей из ряда запоминающих электроннолучевых трубок (ЭЛТ) (рис. 13). Информация от соседних элементов изображения, попадающих в поле зрения телекамеры, будет считываться двухкоординатным сканирующим устройством и накапливаться на мишенях запоминающих ЭЛТ. С мишени предыдущей трубки она будет налагаться на мишень последующей трубки системы. Таким образом, на мишени последней трубки будет накоплена вся информация, соответствующая характеристике контура в целом. Идея

параллельной модели нервной сети человеческого глаза заключается в одновременной параллельной обработке элементарной информации, на основе которой накапливаются уже исчерпывающие сведения, необходимые для опознавания. По словам руководителя работ доктора Форстера, в дальнейшем предполагается создать еще и компактные усовершенствованные образцы систем, обрабатывающих информацию за очень короткий срок (примерно за 10^{-9}сек). Такие модели будут занимать объем обычной пишущей машинки. По быстродействию эти системы превзойдут возможности человеческого глаза, опознающего объект за время порядка 10 мксек.

Предполагается, что запоминающие возможности ЭЛТ, снабженных электронной системой сканирования мишени по двум координатам, позволят осуществить тот качественный скачок в моделировании нервной системы глаза, которого можно достичь только при развитии параллельных вычислительных систем, предлагаемых доктором Форстером. Безусловно, эти системы будут чрезвычайно сложны. Так, в первой модели системы, разрабатываемой в лаборатории под руководством Гассела, запоминающие возможности ЭЛТ использованы только на 64% (растр разложения трубки состоит из 400 строк по 400 точек в каждой). В экспериментальной системе матрица разложения состояла всего из 256 строк по 256 точек в каждой. Но и тогда общее число чувствительных элементов уже составляло 65 536. (В центральной ямке сетчатки глаза содержится всего 30 000 чувствительных элементов.) Конечно, такие сверхсложные системы могут создаваться только на основе новых твердотельных устройств и микроминиатюрной электронно-оптической техники. Но даже в таком случае электронная модель глаза, очевидно, не сможет воспринимать информацию, связанную с изменениями направления движения, яркости и цвета предметов. Пока она способна узнавать только двумерный образ предмета. Однако в дальнейшем параллельная вычислительная система, снабженная уже двумя передающими камерами, сможет моделировать и объемное зрение. По утверждению разработчиков, создание такой системы будет способствовать развитию вычислительного устройства "Numa Rete", считывающего со скоростью 20 000 предметов в секунду случайные объекты независимо от их размера, места расположения, формы и освещенности. Каждый считываемый предмет имеет определенные границы (края). Устройство "Numa Rete" содержит плоскую матрицу из 400 фотоэлементов и, по существу, считывает именно края, фиксируя границы предметов. В этом смысле его можно назвать "детектором границ". Этот

принцип в настоящее время положен в основу работы электронных моделей зрительных анализаторов и получил название "логики близости" (Neighborhood Logic). Д-р Форстер пояснил существо логики такого типа следующим образом. Каждый одномерный линейный объект представляет собой препятствие для света и имеет два "конца". Если путь света на "детектор границ" преграждает N объектов, то возбуждаются 2N нервных волокон. Следовательно, общее число объектов, находящихся в поле зрения сетчатки, равно половине возбужденных нервных волокон.

В параллельной вычислительной системе сканирование ведется по двум координатам и фиксируется не только общее число объектов N, но и отдельно число объектов Nc, ограниченных изогнутыми поверхностями. В такой системе осуществляется электронное сканирование реального изображения, запечатленного на мишени запоминающей трубки. Этот метод позволяет моделировать процесс восприятия контура изображения, опознавания предмета и относительной оценки его особенностей на основе постепенного исследования степени контрастности соседних элементов черно-белого изображения и интервалов яркости цветного изображения, а не на основе восприятия всего предмета в целом. В этом и проявляется логика близости. Использование логики близости в вычислительных системах позволит со временем опознавать такие особенности зрительных образов, как форма, топологическая связь, движения образа, мерцания и т. д.

Сейчас еще трудно сказать, насколько сложной будет работа, которую смогут выполнять будущие системы, построенные по образу и подобию зрительного анализатора человека. Их можно будет научить быстро отыскивать нужную фотографию и выделять в ней по неуловимым для человека признакам интересующую его информацию, безошибочно диагностировать болезни по рентгенограммам, определять характер "событий", следы которых фотографируют с экранов осциллографов или в пузырьковых камерах. Они смогут выполнять функции операторов у пультов управления, им можно будет поручать ввод данных в вычислительную машину, определение глубины залегания полезного геологического слоя, наведение беспилотных аппаратов, астронавигацию, сортировку почтовой корреспонденции, наблюдение за уличным и железнодорожным движением и многое другое. Одна машина, будучи обучена выполнению тех или иных функций, сможет научить всему, что умеет сама, сколько угодно других. "Зрячие" машины совершат в технике революцию, которая будет равноценна появлению самих

электронных машин.

Беседа тринадцатая. На пути к искусственному мозгу

Что может быть для человека важнее его собственного мозга? Однако наши сведения о структуре и функциях мозга в настоящее время еще весьма неполны, зачастую основаны лишь на догадках. О нем мы знаем значительно меньше, чем о других органах. Давно ли, например, считалось непреложной истиной, что живые существа лишены "магнитного чувства"? Но вот проделали такой опыт. Человеку в состоянии гипноза внушили определенные зрительные образы: яркий солнечный день, тихое лесное озеро, цветы на лугу... И вдруг этот образ начал искажаться, как на экране испорченного телевизора, затягиваться туманной дымкой, разрушаться и исчезать. Что же произошло? А это к одному из центров больших полушарий, заведующему формированием зрительных образов, поднесли постоянный магнит, забаву школьника, и, как оказалось, магнитное поле непосредственно повлияло на процессы, происходящие в этом центре.

Приведем другой, не менее разительный факт, с которым не так давно столкнулись ученые. Оказывается, если воздействовать слабым электрическим током на так называемую интерпретационную, или толковательную, область, занимающую на поверхности больших полушарий головного мозга часть обеих височных долей, то в сознании человека пробуждаются, казалось бы, безвозвратно утраченные воспоминания. Оживают случайно слышанные, забытые мелодии, возникают давно угасшие мысли...

В каких глубинах подсознания хранились эти картины, представления и звуки давно минувших лет? Как научиться вызывать определенные воспоминания и рационально использовать таким образом необъятную кладовую человеческой памяти? Ответы на все эти вопросы пока еще не получены.

И все же, как ни далеки мы от полного познания сущности всех неимоверно сложных процессов, происходящих в нашем мозгу, нам удалось создать немало замечательных "мозгоподобных" машин, о которых лет двадцать тому назад — это можно смело сказать, не греша против истины, — не мечтал даже сам Норберт Винер, "отец кибернетики". Эти машины предсказывают погоду, в сотни тысяч раз быстрее человека производят сложные вычисления, отменно играют в шахматы, расшифровывают древние письмена, на расстояниях в сотни километров управляют технологическими процессами в цехах и на целых заводах, самостоятельно читают, переводят и

записывают тексты, вычисляют траектории полетов космических кораблей и наиболее экономично планируют на десятилетия вперед производство целых отраслей промышленности, сберегая миллионы часов человеческого труда.

Однако, при всех своих "способностях", современные кибернетические машины во многом уступают возможностям человеческого мозга. Наш мозг, как известно, выполняет несоизмеримо более сложные задачи регулирования и управления, чем любая кибернетическая машина. Более того, он в совершенстве и с большой легкостью осуществляет ряд функций, которые пока не по силам электронным автоматам. В частности, мы имеем в виду решение широкого круга задач без предварительного программирования, распознавание образов и многое другое.

Глубокое изучение процессов мышления, исследования в области теории самоорганизующихся и обучающихся систем имеют для бионики первостепенное значение. Следует признать, что здесь получено еще очень мало результатов, которые можно было бы использовать для полноценного моделирования и воспроизведения высшей нервной деятельности человека. Пока мы можем только сказать, что определился большой круг проблем, от решения которых в принципе зависит реализация этого грандиознейшего и сложнейшего из человеческих замыслов.

В беседе "Зрячие машины" мы упомянули о том, что мозг обладает способностью сопоставлять, анализировать и обобщать получаемую им информацию. Существенно, что при этом он выделяет из нее и запоминает наиболее важное и после закрепления образовавшихся связей освобождает память для новых сообщений. Эту его особенность удалось промоделировать средствами современной электроники; однако, хотя ассоциативная память перцептронов оказалась достаточно эффективной, до сих пор неясно, верно ли она воспроизводит данную функцию мозга.

Человек всегда помнит больше, чем ему кажется. Однажды полученные впечатления могут уходить из центра внимания, но не изглаживаются из памяти окончательно. Так, например, французскому рисовальщику Гюставу Доре (автору широко известных иллюстраций в книгах "Гаргантюа и Пантагрюэль" Ф. Рабле, "Дон Кихот" М. Сервантеса и др.) издатель однажды поручил сделать рисунок с фотографии какого-то альпийского вида. Доре ушел, не захватив с собой фотографию. На следующий день он принес совершенно точную копию. Известно также, что самый удачный портрет президента Линкольна был написан провинциальным почитателем, видевшим его всего лишь один

раз. По свидетельству современников, Юлий Цезарь и Александр Македонский знали в лицо и по имени своих солдат, а ведь их было очень много — 30 тысяч. Рассказывают, что Моцарт точно записал большую и сложную симфонию, услышанную только один раз. Композитор А. К. Глазунов легко восстановил утраченные партитуры больших музыкальных произведений. С. В. Рахманинову достаточно было один раз услышать фортепьянный концерт, чтобы точно воспроизвести его. А. Алехин помнил все сыгранные шахматные партии и, не глядя на доски, мог одновременно играть с 30 — 40 партнерами.

Установлено с абсолютной точностью, что мимо наших глаз и ушей ничто не проходит бесследно, только не все воспринимаемое мы успеваем осознать. Так, недавно в одном из английских кинотеатров по заказу нескольких торговых фирм был проделан такой опыт. В пленку с фильмом вмонтировали кадры, рекламирующие мороженое и прохладительные напитки. Вставки мелькали, задерживаясь в поле зрения лишь на $^1/_{25}$ сек, — этого мало, чтобы сознание успело отметить их, но глаз не пропускал ничего. После просмотра фильма продажа мороженого и воды повысилась почти вдвое!

К счастью, мозг не захлестывается непрерывным потоком обрушивающихся на него различных сведений и сообщений. Способность забывать — вернее, прятать вглубь — такое же бесценное свойство мозга, как и способность запоминать. Но достаточно какой-нибудь встряски, и архивы памяти начинают вдруг раскручивать бесконечную ленту воспоминаний. Так, полагают, что за короткие мгновения перед мысленным взором утопающих с поразительной четкостью проносятся картины всей их предыдущей жизни. Еще один пример — молодая женщина переехала из Польши в Россию и вскоре забыла родной язык. Но в возрасте 70 лет она перенесла кровоизлияние в мозг и снова заговорила по-польски.

История сохранила для нас и такой столетней давности любопытный факт. Безграмотная женщина безвыездно прожила всю жизнь в маленьком немецком городке. Однажды она тяжело заболела и в бреду, на удивление всем, произносила длиннейшие монологи на нескольких непонятных для окружающих языках. Священник заподозрил ее в колдовстве, и неизвестно, чем бы это кончилось, если бы не вмешался врач, пригласивший к постели больной ученых. К великому своему удивлению, они узнали латинский, древнегреческий и древнееврейский языки. Оказывается, в десятилетнем возрасте больная была служанкой в доме пастора, коллекционировавшего древние священные книги, которые он часто читал вслух, прохаживаясь перед ее каморкой.

Ее память бессознательно фиксировала услышанное и сохранила все это в тайниках мозга.

И еще один пример. В начале XIX века камердинер испанского посла в Париже, заболев горячкой, в бреду начал читать наизусть сложные политические трактаты, проявляя редкую осведомленность в вопросах дипломатии. Посол не верил своим ушам и намеревался сделать камердинера секретарем посольства, полагая, что он приобретет в его лице ценного сотрудника, своего рода живой справочник. Увы, по выздоровлении слуга снова превратился в усердного служащего, но недалекого человека. Он даже не подозревал, что память его хранит несметные сокровища знаний...

И еще один, последний пример. Вальтер Скотт работал над романом "Айвенго", находясь в болезненном состоянии. Впоследствии весь период работы над книгой выпал из его памяти, и, когда ему показали экземпляр только что отпечатанной книги, он не признал ее своей и сказал, что ничего о ней не знает и не помнит. Вот какие шутки иногда выкидывает человеческая память!

Что же такое память? Где она расположена, каков механизм ее работы? Есть ли вещество — носитель памяти? Что происходит у нас в мозгу, когда мы запоминаем, вспоминаем или забываем? Запоминает ли весь мозг или памятью ведают отдельные группы нервных клеток? Какой ключ заставляет кладовые нашей памяти то послушно распахиваться настежь, то приоткрывать лишь щелку? Выдающийся американский математик Джон фон Нейман сравнительно недавно сказал по этому поводу следующее: "О природе и местонахождении памяти мы знаем не больше, чем древние греки, считавшие местонахождением разума диафрагму".

Проблема изучения памяти, ее механизмов является сейчас одной из самых актуальных проблем в физиологии, кибернетике и бионике. Механизм памяти таит в себе своеобразное очарование, потому что он лежит в основе всех способностей человека к познанию и воображению. "Мне кажется, — писал Анатоль Франс, — что память — волшебная сила, что дар воскрешать прошедшее столь изумителен и драгоценен, как дар предвидеть будущее". В познании этой "волшебной силы" сегодня больше всего заинтересованы творцы электронных систем, мечтающие о создании искусственного мозга — машины фантастических возможностей.

В настоящее время существует множество различных определений памяти. Одно из них предложено Е. Н. Соколовым; оно не очень сложно и не очень запутано и гласит: "Система обладает памятью, если она содержит в себе некоторую

информацию о сигнале после того, как сигнал перестал действовать". В 31-м томе 2-го издания БСЭ дается следующее определение: "Память — запечатлевание, сохранение и воспроизведение того, что ранее человек воспринимал, переживал, делал, думал". И наконец, в "Энциклопедическом словаре" написано: "Память — отражение прошлого опыта, заключающееся в запоминании, сохранении и последующем воспроизведении или узнавании того, что раньше воспринималось, переживалось или делалось".

Итак, одно из основных проявлений памяти — узнавание и воспроизведение. Узнавание образов — это то проявление памяти, которое обычно связано с восприятием. Воспроизведение же не обязательно происходит одновременно с процессом восприятия. Например, пианист может сыграть наизусть знакомую ему пьесу; закрыв глаза, вы можете воспроизвести лицо знакомого вам человека, вид вашей комнаты или однажды увиденный и полюбившийся вам ландшафт, скажем, в Карпатах. Восприятие информации и ее фиксация — это условия ее сохранения в памяти, а узнавание и воспроизведение — это обнаружение того, что данная информация сохранилась в памяти.

Рассмотрим теперь некоторые количественные параметры памяти человека.

В определении емкости нашей памяти существуют значительные расхождения. Ученые оценивают ее величину по-разному: от полутора миллионов ($1{,}5 \cdot 10^6$) до миллиона миллиардов (10^{15}) и даже до 10^{23} бит[24]. Для оценки этой емкости используются различные подходы. Так, например, Кюмфмюллер при определении минимальной емкости памяти исходит из способности человека усвоить 100 тысяч (10^5) слов языка. При этом среднюю длину слова он принимает равной 6 буквам, а количество информации, приходящейся на одну букву в устной речи, 1,5 бит и в письменной — $\log_2 32 = 5$ бит. Это дает для минимальной емкости памяти

$M_{мин} = (1{,}5 + 5) \cdot 6 \cdot 10^5 = 3{,}9 \cdot 10^6$бит.

Миллер оценивает пределы емкости памяти, исходя из следующих психофизиологических наблюдений. Минимальную емкость он оценивает в $1{,}5 * 10^6$ бит, полагая, что человек способен запомнить (выучить наизусть) по крайней мере 1000 комплексов, равноценных таблице умножения, которая содержит 1500 бит информации. Максимальное количество информации он оценивает, исходя из предположения, что человек в течение 80 лет своей жизни ежедневно запоминает информацию по 16 час со скоростью 25 бит/сек, что является, по наблюдениям психологов, максимальной скоростью восприятия. Отсюда получается

величина

$M_{макс} = 25$ бит/сек $\cdot$ 3600 сек $\cdot$ 16 $\cdot$ 365 $\cdot$ 80 $= 4{,}5 \cdot 10^{10}$ бит.

И. Гуд, считающий, что запоминание определяется изменением состояний синапсов и что каждый синапс может находиться по крайней мере в 10 различных состояниях, оценивает память человека емкостью

$M = 10 \cdot 30 \cdot 10^{10} = 3 \cdot 10^{12}$ бит,

где число 30 — число синапсов в расчете на один нейрон, а 10^{10} — число нейронов в коре головного мозга.

Джон фон Нейман в своей книге "Вычислительная машина и мозг" подсчитал, что емкость памяти человека должна составлять $2{,}8 \cdot 10^{20}$ бит информации. Если для записи одного бита требуется один двухпозиционный переключатель, то отсюда следует, что на каждый нейрон в нервной системе должен приходиться объем памяти, эквивалентный 30 миллиардам таких переключателей!

Х. фон Фёрстер считает носителями долговременной памяти молекулы белка, которые он назвал "мнемами". Исходя из того, что объем мозга равен 10^3 см^3, объем одной молекулы белка равен 10^{-18} см^3 и каждая молекула может накопить минимум 1 бит информации, фон Фёрстер оценивал емкость памяти человека астрономической цифрой... 10^{21} бит!

Это, безусловно, крайне завышенная оценка. В действительности, по-видимому, нет необходимости заходить так далеко. Надо полагать, что истинные пределы емкости человеческой памяти составляют 10^{10}-10^{15} бит, тогда как запоминающие устройства (ЗУ) современных электронных вычислительных машин (ЭВМ) способны накапливать до 10^6-10^7 двоичных единиц информации. И если бы мы захотели построить ЭВМ с ЗУ, равным емкости человеческой памяти, то при всем нашем желании мы этого не смогли бы сделать ни сегодня, ни завтра, ни даже в ближайшие десятилетия, так как общее число всех электронных ламп и транзисторов, имеющихся сейчас на всем земном шаре, едва соизмеримо с числом нейронов в мозге одного человека.

Необходимо также отметить огромную удельную емкость памяти биологических систем по сравнению с памятью технических запоминающих устройств. Если в лучших технических ЗУ эта величина (с учетом схем управления) достигает 10^3 бит/см^3, то предполагаемая удельная емкость для мозга составляет около 10^{18} бит/см^3. Практически , кладовые нашей памяти бездонны.

Трудно представить себе ситуацию, в которой память была бы настолько заполнена информацией, что человек больше не мог бы

воспринимать и запоминать новую информацию. Это резко отличает память человека от машинной памяти, в которой подобная ситуация — невозможности ввода новой информации из-за заполнения всех запоминающих ячеек — возникает весьма часто. Объяснение этого замечательного свойства памяти человека заключается вовсе не в безграничной потенциальной возможности фиксации информации, а в наличии своеобразных психофизиологических механизмов, предохраняющих мозг от "переполнения" информацией. У одних людей эти механизмы отличаются большей бдительностью, у других они более "либеральны". С этих позиций легко объяснить случаи так называемой феноменальной памяти и явления гипертрофического обострения памяти, или гипермнезии, возникающей в результате некоторых мозговых заболеваний. Этим же объясняется хорошая результативность проводящихся в последнее время опытов обучения во сне (при неглубоком сне материал запоминается значительно быстрее, чем в обычном, бодрствующем, состоянии). В состоянии такого сна некоторые механизмы, защищающие мозг от избыточной информации, оказываются выключенными, и поэтому обучение проходит быстрее.

По всей видимости, все люди обладали бы феноменальной памятью, если бы им не "мешали" особые защитные устройства мозга. Не будь этих заградительных механизмов, наш мозг мог бы вместить такой объем знаний, который сравним с общим количеством информации, содержащейся в фонде Государственной публичной библиотеки им. В. И. Ленина, — порядка 10^{13} бит! Вот на что способен человек. Но, увы, каждый из нас необычайно мало использует возможности своей памяти. Мы напоминаем обладателя огромного архива, который пока не нашел ключа к нему. Этот таинственный "ключ" и ищут сейчас ученые всего мира — бионики и инженеры, физики и врачи, математики и химики.

В тридцатых и сороковых годах нашего века известный нейропсихолог Карл Лэшли провел серию широких исследований, имевших целью обнаружить запоминающие области мозга — обособленные "центры памяти". Один из основных экспериментальных приемов Лэшли заключался в следующем. Крыс обучали сложной системе навыков. После того как крыса приобретала определенные навыки, у нее удаляли корковую ткань различных областей мозга. При этом было установлено, что ухудшение памяти зависит от величины удаленного участка, а не от того, какой именно участок удален.

Таким образом, поиски гипотетического "отпечатка памяти",

так называемой "энграммы", не увенчались успехом, точнее, они дали отрицательный результат. Память не сосредоточена в каком-нибудь определенном участке мозга, нет, она является коллективным делом всех нейронов, которые сообща шифруют сведения, поступающие от органов чувств, и распределяют копии по всем "заинтересованным" отделам мозга. Иными словами, информация, поступающая в мозг, как бы диффундирует сквозь объемы серого вещества. Этим, вероятно, можно объяснить многочисленные случаи, когда прекращение деятельности некоторых групп нейронов в различных участках коры головного мозга не сказывается существенно на функциях памяти.

Что касается механизма хранения получаемых знаний, то по этому поводу мнения ученых на сегодняшний день в основном можно свести в следующую гипотезу. Существует два вида хранения: память кратковременная, оперативная, та, что всегда "под рукой", и память долговременная, "постоянная", стабильная, или, как еще говорят, долгосрочная, основная, фондовая, запрятанная довольно глубоко. Однако имеется немало веских доводов в пользу так называемой "трехступенчатой" теории памяти. Согласно этой теории, на первой ступени, или на первом уровне, находится короткая, "мимолетная" память, порядка нескольких секунд или даже и того меньше. Она воспринимает сотни чувственных впечатлений, которые непрерывно поступают в бодрствующий мозг и чаще всего тут же забываются. На втором уровне располагается память средней продолжительности — от нескольких минут до нескольких часов. Здесь в качестве примеров можно привести зубрежку перед экзаменами. На самом же глубоком уровне находится долговременная память. Из всех воспринимаемых впечатлений и информации отсеиваются и выбираются те данные, которые в силу их яркости, интереса или полезности сохраняются.

Эксперименты, подтверждающие эту гипотезу, выглядят довольно убедительно. "Если крысу или хомяка, — пишет Д. Вулдридж, — обучить выполнению какой-либо новой задачи и спустя несколько минут после окончания тренировки пропустить через головной мозг животного достаточно сильный электрический ток, вызывающий судороги, то это приведет к частичной или полной утрате результатов обучения. Если шок следует за обучением всего лишь через 5 мин, результаты утрачиваются полностью: при промежутке в 15 мин потеря навыка еще значительна, если прошел целый час — совсем невелика; через несколько часов после окончания обучения электрошок уже не оказывает видимого влияния на сохранение результатов обучения в памяти и на способность животного

выполнять усвоенную процедуру. Очевидно, в этих опытах ток, пропускаемый через мозг, не может повредить следы, если они уже закрепились в долговременной памяти, но еще способен либо разрушать следы "промежуточной" памяти, либо инактивировать неизвестный механизм превращения их в следы постоянной памяти. В том и другом случае эти эксперименты, по-видимому, указывают на то, что у исследованных животных время, необходимое для формирования следа в долговременной памяти, измеряется минутами, а не часами".

"Таким образом, — пишет далее Д. Вулдридж, — субъективные наблюдения в сочетании с объективными данными привели нас к "трехстадийной" теории памяти. В течение короткого времени мозг автоматически сохраняет информацию о состоянии внешней среды в данный момент, доставляемую нервными импульсами от наружных рецепторов. При отсутствии отбирающих и закрепляющих процессов следы этой входной информации исчезают очень быстро — вероятно, за несколько секунд. Однако в нормальных условиях, отчасти сознательно, отчасти бессознательно, какой-то концентрирующий внимание механизм — возможно, ретикулярная активирующая система — производит первичную сортировку поступающих данных, часть которых выделяется им как особо интересная и передается для хранения механизму, который мы назвали "промежуточной" памятью. Если след памяти подкреплен процессом концентрации внимания, он может, по-видимому, сохраняться в этом промежуточном состоянии несколько минут. В мозгу, функция которого нарушена в результате болезни, хирургического вмешательства или электростимуляции, такое закрепление может оказаться невозможным, и тогда след памяти по прошествии нескольких минут безвозвратно утрачивается. В нормальном же мозгу протекает какой-то процесс, в результате которого этот след фиксируется. Видимо, и в этом случае концентрация внимания — возможно, с помощью того же механизма, который отбирал первичные сенсорные данные, — окончательно закрепляет некоторую часть информации в долговременной памяти, другая же часть ее фиксируется настолько слабо, что может и вовсе выпасть из системы памяти, если не будет позже подкреплена повторением или "внутренним" воспроизведением.

Но если все это так, то какова же все-таки материальная основа памяти? В каких физических формах она обитает?

Первая основательная современная теория памяти, которая пользовалась довольно широким признанием до самого последнего времени, исходила из того, что память обусловлена чисто электрическими явлениями. Согласно этой простой и

изящной теории, каждая поступившая в центральную нервную систему единица информации образует в мозгу электрическую цепь из нейронов. По этим цепочкам (а их может быть для восприятия информации, поступающей в течение всей жизни, бесконечное множество) "гуляют" токи определенной частоты, и каждая из них — это зашифрованный образ. Тот факт, что нервные импульсы от сенсорной системы прокладывают следы памяти различной силы и частоты через синапсы в нервной сети головного мозга и формируют схемы, способные к последующему воспроизведению, позволил английскому физиологу Ч. Шеррингтону найти для мозга весьма удачное образное сравнение. Ученый уподобил мозг "...волшебному ткацкому станку, на котором миллионы сверкающих челноков ткут мимолетный узор, непрестанно меняющийся, но всегда полный значения".

В начале беседы нами были отмечены опыты Джаспера и Пенфилда, которые показали, что в височной части больших полушарий коры головного мозга человека находятся отделы, раздражение которых электрическим током вызывает у людей определенные воспоминания. Эти эксперименты прекрасно согласовывались с "электрической" теорией памяти. Однако результаты поставленных позже других опытов заставили ученых усомниться в правильности этой теории. Различных подопытных животных приучали к выполнению тех или иных задач, а затем мощными электрошоками или сильнодействующими препаратами пытались стереть или разрушить электрические схемы памяти, но животные и после этого не теряли своей "квалификации". Не могла "электрическая" теория объяснить и многие другие факты: почему, например, сохраняется память, когда мозг поврежден и электрическая активность его коры почти полностью утрачена? Почему так мало выделяется энергии в мозгу, хотя по электрической теории памяти все должно было бы быть как раз наоборот?

В общем, память упорно не хотела укладываться в электрическую теорию, и ученым в конце концов пришлось от нее отказаться. Видимо, решили ученые, запоминание происходит за счет каких-то изменений внутри нейрона, на молекулярном уровне. И ученые занялись поисками химических основ памяти.

Первым проник в молекулярные глубины головного мозга шведский нейрофизиолог, профессор гистологии Гётеборгского университета Хольгер Хиден. Для проведения исследований на молекулярном уровне ему надо было прежде всего усовершенствовать методику выделения изолированных живых клеток мозга. Главная трудность в химии головного мозга

заключается в том, что исследователям приходилось иметь дело с неоднородной тканью, и поэтому нередко результаты оказывались путаными и неясными. Начав свои исследования примерно в 1957 г., Хиден разработал специальный набор инструментов из нержавеющей стали, состоящий из микроножей и тончайших крючков. После года терпеливой и настойчивой практики он научился, пользуясь этим набором и стереомикроскопом, изолировать нейроны размером меньше пылинки. Он научился "счищать" с нейрона более мелкие глиальные клетки, а затем и выделять ядро из тела нейрона, что позволяло анализировать каждый его компонент по отдельности. Хиден обнаружил, что в нервных клетках содержится поразительно большое количество рибонуклеиновой кислоты (РНК) — в десять с лишним раз больше, чем в глиальных клетках. Кроме того, он установил, что процессы синтеза и разрушения РНК в нервных клетках протекают с большой скоростью. Более того, оказалось, что РНК нервных клеток отличается по составу от глиальной РНК. Все виды РНК состоят из четырех оснований: аденина, гуанина, цитозина и урацила, скомбинированных в различных пропорциях. Связь между основаниями и их чередование в молекуле определяют код, который несет на себе РНК. Хиден установил, что концентрация аденина и урацила в клетках обоих видов примерно одинакова. Но нервная клетка содержит пропорционально больше гуанина и меньше цитозина.

К началу 1960 г. Хиден и его коллеги накопили огромный экспериментальный материал, множество поразительных данных. Опыты ставили на кроликах, крысах и других животных. Некоторых животных подвергали обычной стимуляции, в частности вращали на центрифуге, других приучали выполнять определенные задачи. Так, например, в деревянную клетку помещали крыс, которые должны были добывать себе корм несколько необычным способом. На высоте около метра в ней установили маленькую платформу с кормушкой, к которой вела стальная проволока. Крысы должны были научиться карабкаться по проволоке, чтобы добыть себе пищу. После четырехдневной тренировки вестибулярный аппарат, ведающий равновесием тела животных, к которому при добывании корма предъявлялись весьма высокие требования, стал справляться с трудной задачей — крысы научились удерживаться на проволоке. После этого животных умерщвляли и исследовали ту часть их мозга, которая была "ответственна за равновесие". Изучение нервных клеток вестибулярного аппарата крыс-"канатоходцев" привело к интересным результатам. Было установлено, что возбуждение, вызванное обучением животных новым навыкам, значительно

повышает выработку РНК в нейронах головного мозга, которые и без того содержат больше РНК, чем любые другие клетки тела. Кроме того, с повышением активности РНК в нейроне она снижалась в связанных с ним глиальных клетках, и наоборот. Таким путем выяснилось, что глиальные клетки, которые до этого считались не более чем опорно-изолирующими структурами для нейронов, на самом деле активно с ними связаны. Когда активность нейрона достигает своего максимума, нейроглия снабжает его дополнительной РНК и соединениями, богатыми энергией; когда нерв "успокаивается", нейроглия пополняет свой собственный запас РНК.

Самое же важное в результатах Хидена состояло в том, что при экспериментальном возбуждении головного мозга той или иной формой учебных упражнений в нем не только повышается выработка РНК, но изменяется и ее состав: небольшая часть этой РНК отличается последовательностью оснований или химическим составом от любой РНК, обнаруживаемой в нейронах "необученных", контрольных животных. В этих видоизмененных молекулах РНК, очевидно, и закодированы вновь приобретенные знания — к такому заключению пришел ученый.

Своими открытиями Хиден, в сущности, подвел первый физический фундамент под молекулярную, химическую теорию памяти. Согласно этой теории, импульсы, приходящие в мозг, изменяют электрические цепи, которые всегда существуют между нервными клетками — нейронами. При этом нарушается ионное равновесие внутри клетки, что и влияет на РНК, точнее сказать, на ее основания. Иногда они меняют свое местоположение, что соответствует фазе переходной памяти. Меняется и сама РНК — программа, по которой в клетке синтезируется соответствующий белок. Меняется и сам белок. Так РНК и белок совместно создают постоянные следы памяти внутри клеток коры головного мозга. Во время воспоминаний сигналы поступают в те мозговые клетки, где уже хранится информация. Происходят сложные реакции, в нервных клетках наступает разряд, в результате чего из кладовых "выдается" запасенная информация. Следы памяти образуются во многих клетках мозга. Поэтому-то и невозможно найти в мозгу какое-либо одно место, где хранится память.

Итак, по Хидену, запоминание происходит на молекулярном уровне. А нейронные цепочки — это только вспомогательный аппарат памяти, "собирающий" блоки памяти. Как видите, разница между электрической и химической теориями памяти весьма существенна.

Гипотеза Хидена о том, что память содержится в молекуле, вызвала настоящий взрыв экспериментов. Некоторые

исследователи полагали, что самые прямые опыты должны состоять в том, чтобы перенести молекулы РНК из мозга обученных животных в мозг необученных и наблюдать результаты. Американский психолог Мак-Коннел выбрал для своих опытов планарий — крохотных водяных червячков. Их приучали к тому, что одновременно со вспышкой света наступит раздражение — электрический укол. После нескольких сочетаний укола и вспышек у червей вырабатывался оборонительный рефлекс: достаточно было только вспышки света, и тело планарий тотчас же сокращалось. Добившись такого "запоминания", экспериментатор растолок в ступке "обученных червей" (причем настолько тщательно, что о сохранении каких-либо клеточных структур не могло быть и речи) и полученной массой кормил планарий, ничего не "знающих" ни о вспышке света, ни об электрических уколах. В 1962 г. Мак-Коннел опубликовал сенсационное сообщение, в котором писал, что его "образованные" черви, будучи изрублены и скормлены "необученным" червям, передали им свою приобретенную способность. Последние вдвое быстрее, чем их предшественники, научились реагировать на световой сигнал. Иными словами, "необученных" червей накормили памятью!

В поисках подтверждения гипотезы о химической основе памяти и возможности "передачи" памяти искусственным путем следующий важный шаг вперед сделала в 1964 г. группа американских ученых под руководством психолога Аллана Л. Джекобсона. Всю свою экспериментальную работу в этом направлении исследователи Калифорнийского университета перенесли с такого низшего звена, как черви, на крыс.

Джекобсон и его коллеги сначала приучили крыс бежать к кормушкам после того, как раздавалось резкое пощелкивание. С каждым щелчком в кормушку падала маленькая порция пищи, вознаграждавшая крысу за ее приход. Когда дрессировка была закончена, животные были убиты, и РНК, выделенная из их мозга, вводилась другим, недрессированным крысам. Что же получилось? "Необученные" крысы после пощелкивания начинали поиски кормушки с пищей. Как сообщалось в научном журнале Калифорнийского университета, исследователи 25 раз повторили опыты с каждой из 7 крыс, которым была введена РНК "обученных" животных, и установили, что при подаче сигнала крысы, не прошедшие дрессировку, от одного до десяти раз приближались к кормушке вплотную. Чтобы подтвердить свои наблюдения, исследователи вводили РНК от группы "необученных" контрольных крыс 8 другим, таким же "необученным", и повторили испытания. Крысы никак не

реагировали на звук резкого щелчка.

Далее ученые усложнили опыты. Они провели подобные же эксперименты, в ходе которых РНК бралась для инъекции от крыс, обученных отыскивать пищу при пощелкивании или при действии мигающего света, а также от "обученных" животных других видов, например от хомяков, которые близки крысам, но имеют много отличий. Эти эксперименты также подтвердили, что РНК переносит информацию сегодняшнего дня и это проявляется даже тогда, когда животные относятся к разным видам!

Так своими экспериментами Джекобсон поддержал гипотезу о записи опыта в молекулах РНК ("гипотеза РНК-энграммы", или "РНК-гипотеза"). Общая черта этих гипотез, напомним, заключается в стремлении использовать огромную информационную емкость основных биологических макромолекул — ДНК, РНК и белков — для объяснения записи поступающей в мозг разнообразной информации путем соответствующих изменений в их молекулярной структуре. И действительно, "РНК-гипотеза", казалось бы, разрешает некоторые сложные проблемы и, в частности, может объяснить, каким образом в памяти хранится чрезвычайно разнообразная информация. Во всяком случае то, что в образовании запаса знаний "виновата" именно перестройка молекулы белка, позволило одному известному биофизику дать необычайно яркий образ: "...в основе каждой уродливой мысли лежит химически изуродованная молекула". Приверженцы же научной фантастики из опытов Хидена, Мак-Коннела и Джекобсона не приминули сделать предельно ясный вывод: весь процесс обучения человека в будущем будет сведен к небольшому числу инъекций памяти.

Однако, несмотря на добытые экспериментальным путем обоснования "РНК-гипотезы", эта гипотеза сталкивается с серьезными возражениями. Так, комментируя статью Джекобсона "Знание, переданное шприцем", старший научный сотрудник Института молекулярной биологии АН СССР К. Кафиани пишет:

> "РНК-гипотеза" предполагает изменение последовательности расположения составных частей РНК под влиянием внешней среды. Это предположение несовместимо с твердо установленными молекулярной биологией данными о механизме образования и о физических и химических свойствах РНК. Дело в том, что гипотеза предполагает существование принципиально иного, чем во всех известных живых системах, способа кодирования информации в макромолекулах. Хотя мозг и является наиболее высокой

формой организации живой материи, однако нет достаточных оснований думать, что его работа построена на принципах, не подчиняющихся общим закономерностям живых систем. Напротив, всем опытом биохимии и молекулярной биологии доказано принципиальное единство химических и молекулярных механизмов на всех уровнях организации живой материи. Особенности функционирования мозга надо, мне кажется, искать не столько в особых, гипотетических, можно даже сказать, фантастических принципах молекулярных процессов, сколько в особом характере над-клеточной организации нервной ткани. Ведь удивительные свойства кибернетических устройств определяются не сложностью их элементов или действием особых физических механизмов, а особым способом соединения этих элементов в некоторую сложную систему".

Определенные сомнения вызывают у ряда ученых и экспериментальные обоснования "РНК-гипотезы". Во-первых, говорят они, результаты подобных опытов часто направляются в желаемую сторону самими условиями эксперимента. Во-вторых, кажется весьма маловероятным, чтобы довольно непрочная молекула РНК, введенная в организм рецепиента, могла добраться до мозга целой и невредимой через пищеварительный тракт и барьер, который ограждает мозг от крупных чужеродных молекул. "Всякий, кто имел дело с РНК, — пишет К. Кафиани, — знаком и с ее заклятым врагом — ферментом рибонуклеазой, которая с огромной скоростью превращает стройные молекулы РНК в смесь низкомолекулярных осколков. Этот фермент присутствует в любой клетке организма (а значит, и мозга), в крови, с которой РНК должна якобы доставляться в мозг. Вероятность того, что РНК достигнет места ее функционирования в мозгу, сохранив закодированную в ней информацию, поистине ничтожна".

И наконец, самый сильный аргумент против "РНК-гипотезы" заключается в том, что некоторые ученые воспроизвели опыты Мак-Коннела и Джекобсона, но не смогли воспроизвести их результатов. Поэтому представление о том, что память или выученную способность можно перенести в молекуле из одного организма в другой, встречает серьезные возражения. Существует мнение, что результаты поставленных опытов можно объяснить скорее передачей "способности к навыку", нежели передачей информации как таковой. Например, в некоторых опытах червям

скармливали других червей, которые научились быстро находить правильную дорогу в простом лабиринте. Черви-каннибалы находили путь через лабиринт скорее, чем другие, но и они не могли проползти через него сразу, без предварительной тренировки. Вполне возможно, что передается не сама память, а какое-то вещество, ускоряющее процесс запоминания.

Нужно сказать, что, по мнению самого Джекобсона, на основании проведенных им экспериментов пока еще рано делать какие-то обобщения и выводы относительно "РНК-гипотезы". "Все еще остаются нерешенными, — пишет ученый, — некоторые фундаментальные проблемы. В чем состоит действительная природа явления переноса поведения и можно ли отнести его к запоминанию, что вызывает это явление — уверены ли мы, что это РНК и только РНК? Неясно и многое другое... Проблемы запоминания и памяти сегодня не стали проще, чем когда-либо; действительно, может показаться, что новый биохимический подход поставил больше вопросов, чем дал ответов..."

И все же, несмотря на высказываемые многими учеными возражения и сомнения по поводу "РНК-гипотезы", безусловно, следует положительно оценить общую тенденцию к поискам связи между физиологией высшей нервной деятельности и молекулярной биологией. Разработка правильной в целом идеи об участии РНК и белкового синтеза в явлениях долговременной памяти, безусловно, перспективна. По всем данным РНК принадлежит немаловажная роль в механизме памяти. Это вещество очень близко к дезоксирибонуклеиновой кислоте (ДНК), являющейся, как известно, носителем информации наследственности, зашифрованной в химическом виде фактически во всех живых организмах. Если генетическая информация может передаваться веществом ДНК, то вполне резонно предположить, что вещество РНК может быть носителем информации другого типа...

Пока никто не в состоянии дать исчерпывающий ответ на все вопросы, связанные с деятельностью мозга: о механизме памяти, об удивительной системе произвольного доступа к огромным запасам информации, хранящейся в мозгу, о гибкости и надежности памяти человека. Но великий русский физиолог И. М. Сеченов, очень хорошо понимавший титаническую трудность проблемы, утверждал, что предпосылки для понимания функции мозга состоят в "...строгом разборе его машинности". Успехи кибернетики и бионики — лучшее доказательство справедливости этого тезиса. Новым наукам, развиваемым совместными усилиями физиологов, математиков и специалистов по электронике, союз которых оказался чрезвычайно

плодотворным, по плечу любая задача. Рано или поздно ученые смогут выведать у мозга самые сокровенные его тайны.

Значительная и даже, пожалуй, основная часть ведущихся ныне исследовательских работ по бионике посвящена созданию аналогов биологического нейрона — нервной клетки, являющейся основным элементом нервной системы. Конечная цель этих работ — создание систем, предназначенных для накопления, обработки и передачи большого количества информации, электронных машин, способных решать любые сложные задачи без предварительного программирования, различных самообучающихся, адаптивных (самоприспосабливающихся), самонастраивающихся, самоорганизующихся устройств, обладающих малыми габаритами и высокой надежностью. Иными словами, речь идет о создании широкого комплекса автоматических систем, функционирующих по принципу, аналогичному законам деятельности и принципам организации живого мозга.

Нервная система человека и животных содержит нейроны различных типов, при помощи которых мозг воспринимает, обрабатывает, накапливает и передает информацию, регулирующую работу биологической системы в соответствии с изменением внешних условий, т. е. так, чтобы обеспечить ее наибольшую адаптацию к окружающей среде. В основном нейроны делятся на три класса: чувствительные (сенсорные), или рецепторные, которые воспринимают и передают свет, тепло, давление и другие воздействия внешней среды; двигательные (моторные), или эффекторные, контролирующие сокращение мышц; вставочные (ассоциативные), или про-межуточные, которые связывают между собой специализированные типы и комплектуют мозг. Нейроны этих трех классов можно рассматривать как входные устройства, выходные устройства и все, что находится между ними. Помимо различий в величине и форме, у нейронов встречаются и необычные структуры, наиболее заметные у некоторых рецепторных нейронов; окончания этих нейронов снабжены разнообразными приспособлениями (физик назвал бы их преобразователями), с помощью которых давление, химический состав, температура или иные физические величины, воспринимаемые нейронами, могут преобразовываться в особые электрохимические сигналы.

Для того чтобы познакомиться со строением нервной клетки и ее работой, возьмем в качестве образца промежуточный нейрон. Этот выбор обусловлен тем, что промежуточный нейрон является типичной нервной клеткой живого организма — из общего числа имеющихся у человека нервных клеток более 9 миллиардов

являются промежуточными нейронами. Схематическое изображение нейрона приведено на рис. 1. Он состоит из тела клетки (1), содержащего ядро и цитоплазму, заключенную в оболочку (мембрану), от которой отходят ветвящиеся отростки — дендриты (2), осевой отросток, или нервное волокно, — аксон (3), заканчивающийся концевым разветвлением (5), примыкающим к другим клеткам через синаптические контакты, или синапсы (6). От аксона отходят боковые отростки — коллатерали (4), также заканчивающиеся на других клетках.

Тело нервной клетки в поперечнике обычно меньше 0,1 мм. Объем крупного нейрона составляет примерно 0,001 $мм^3$. Дендриты имеют диаметр порядка 0,01 мм и длину от долей миллиметра до десятков сантиметров. Длина аксона нервных клеток человека колеблется от долей миллиметра до 1,5 м (при толщине около 0,025 мм).

По современным представлениям, в основе функции реального нейрона лежат электрохимические процессы. Его мембрана состоит из четырех мономолекулярных слоев (белок — липоид — липоид — белок) общей толщиной около 10^{-6} см. Нейрон в состоянии покоя имеет следующие электрические параметры: разность потенциалов 70 мв, удельное сопротивление $0{,}4 \cdot 10^{12}$ ом · см и емкость 1 мкф/$см^2$ (данные измерений между наружными поверхностями мембраны).

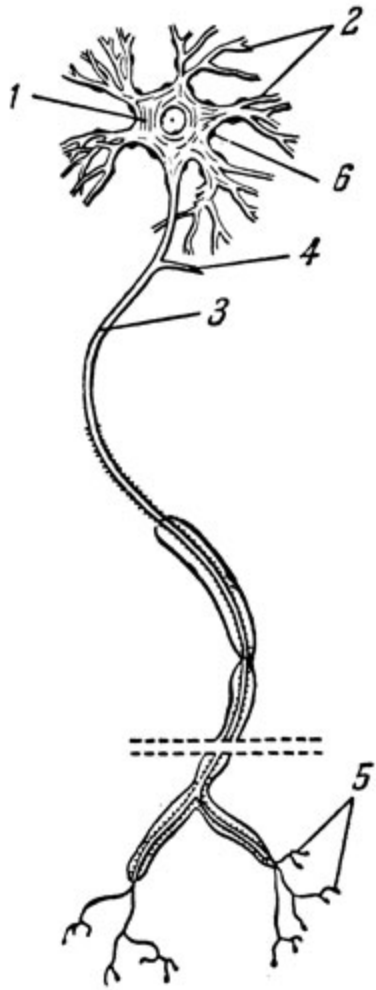


Рис. 1. Схематическое изображение нейрона (нервной клетки)

Нервы в организме играют роль линий связи между рецепторными нервными клетками с чувствительными окончаниями, воспринимающими информацию, скоплениями нейронов, предназначенных для обработки информации, и исполнительными, или эффекторными, клетками, обеспечивающими соответствующие реакции отдельных органов или участков организма. Все эти элементы, воспринимающие, передающие, перерабатывающие и выдающие управляющую информацию, образуют нервную систему. Функция нервной системы основана на процессах возбуждения и торможения. Возбуждение возникает под влиянием электрических, тепловых, химических и механических раздражений и распространяется по нервным волокнам в виде электрических импульсов. Импульс,

возникающий в нейроне, распространяется по аксону без затухания и с постоянной скоростью, примерно равной a√D, где a — постоянная величина, а √D — диаметр аксона. Таким образом, чем толще аксон, тем больше скорость распространения импульсов. Эта скорость неодинакова у различных организмов. У человека она не превышает 120 м/сек, у собаки она составляет 83,3 м/сек, у улитки — 0,05 — 0,4 м/сек.

Посмотрим теперь, как "работает" нейрон. Он может находиться в двух состояниях: возбуждения и торможения. Различные части нейрона несут разные функции. Дендриты служат входами, по которым к телу клетки подводятся импульсы раздражения, а аксоны — выходами, по которым передается возбуждение на другие клетки. В передаче нервными волокнами возбуждения велика роль синапсов, т. е. мест перехода возбуждения от одной нервной клетки к другой. Синапсы обладают односторонней проводимостью, т. е. возбуждение передается только с окончаний аксона одного нейрона на дендриты и тело клетки другого нейрона (на крупных нейронах насчитывается до 1000 синапсов). Кроме односторонней проводимости синапс характеризуется еще одним интересным свойством: в нем происходит замедление проведения возбуждения, т. е. замедляется передача раздражения. Это называется синаптической задержкой. Прохождение возбуждения через синапс как бы подготавливает почву и облегчает прохождение через него следующего возбуждения.

Нейрон имеет множество входов, а выход у него только один. Входной импульс может быть возбуждающим или тормозящим; он может иметь самые различные параметры; выходной же сигнал каждого нейрона представляет собой импульс, амплитуда и длительность которого постоянны. Примечательно, что нейрон срабатывает только при определенном уровне входного воздействия, называемом пороговым. Если раздражение, поступающее на один из входов, ниже, этого уровня, то нейрон продолжает оставаться невозбужденным. Если оно выше этого критического уровня, то нейрон переходит в возбужденное состояние, при котором энергия из тела клетки передается в виде стандартного импульса в аксон.

В течение некоторого времени после разряда нейрона входные сигналы не вызывают его возбуждения.

Это объясняется резким повышением порогового уровня при генерировании нейроном выходного сигнала. В дальнейшем за время, называемое временем восстановления, пороговый уровень понижается до прежней величины. Состояние нейрона после его срабатывания характеризуется возбудимостью — величиной,

обратной пороговому уровню. Кривая зависимости возбудимости нейрона от времени приведена на рис. 2, где по оси абсцисс отложено время, прошедшее после срабатывания нервной клетки, а по оси ординат — величины, обратные пороговому уровню (в процентах от нормального значения).

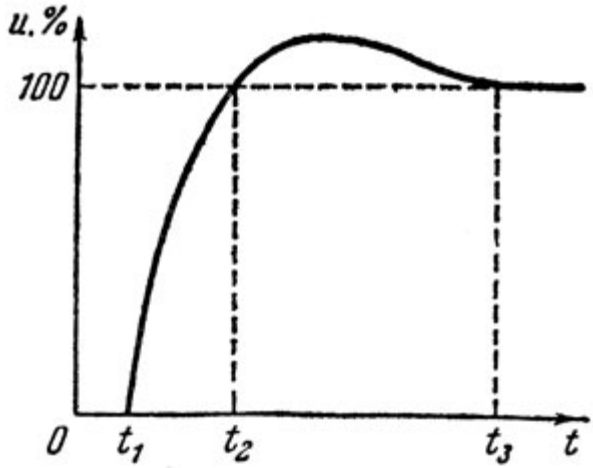


Рис. 2. Кривая зависимости возбудимости нейрона от времени (по Л. И. Крайзмеру)

Как видно из графика, следующий разряд нейрона может произойти не ранее, чем через некоторый интервал времени от 0 до t_1. Такой интервал, называемый периодом абсолютной рефрактерности, длится от 0,4 до 2 мсек. В течение этого времени пороговой уровень нейрона как бы оказывается равным бесконечности, а возбудимость его равна нулю. Считают, что время пониженной возбудимости нейрона от момента его срабатывания до восстановления нормального порога определяется необходимостью восстановить энергию клетки, затраченную на подготовку и генерирование выходного импульса. После окончания периода полной невосприимчивости происходит постепенное (в течение нескольких десятков миллисекунд) снижение порогового уровня до нормальной величины. Этот период (от момента t_1 до t_2) носит название периода относительной рефрактерности. За ним следует фаза повышенной возбудимости нейрона (от момента t_1 до t_3), во время которой он может сработать и при воздействии возбуждения ниже порогового уровня. Наконец, в некоторый момент времени t_3 восстанавливается нормальная возбудимость нейрона.

Но всем этим динамика нейрона не исчерпывается. Раздражения, уровни которых недостаточны для возбуждения, но действующие на несколько входов одновременно, суммируются и

возбуждают нейрон — это так называемое пространственное суммирование. Раздражения с уровнями ниже порога, но следующие одно за другим через короткие промежутки времени, тоже суммируются и возбуждают нейрон. Здесь происходит последовательное суммирование, или суммирование во времени. В механизме возбуждения нейрона часто имеют место одновременно оба процесса — суммирование раздражений как в пространстве, так и во времени. При этом роль предыдущих импульсов возбуждения становится тем меньше, чем больше времени прошло после их появления. Происходит как бы затухание их следов, которое подчиняется экспоненциальному закону.

Как отмечалось выше, импульсы раздражения могут быть возбуждающими или тормозящими и они могут поступать на разные входы нейрона одновременно. Если их алгебраическая сумма превышает пороговый уровень, то нейрон возбуждается и выдает импульс.

Все эти сведения об устройстве и функциях нейрона были собраны нейрофизиологами путем экспериментов, которые трудно назвать даже ювелирными — они значительно тоньше. Исследования электрической стороны деятельности нейронов, которая так интересует инженеров, проводились с помощью микроэлектродов. О них мы рассказывали в беседе "Зрячие машины". Ученым удалось просмотреть на осциллографе все электрические процессы, происходящие в живых нервных клетках, проанализировать связи, существующие между ними, записать электрические "голоса" работающих нейронов на магнитофонную ленту и т. д.

Инженеры интерпретировали всю информацию, полученную от нейрофизиологов, таким образом: нейрон с его способностью находиться только в двух состояниях — возбуждения и торможения — представляет собой (упрощенно) биологический вариант двухпозиционного реле — электронного или любого другого. Функционирование нервной системы определяется числом и характером связей между нейронами, а также видом сигналов, поступающих на вход нервных клеток. Все это в совокупности приводит к мысли, что нервную систему можно рассматривать в некотором роде как весьма сложную, высокосовершенную вычислительную машину, имеющую множество чрезвычайно важных преимуществ перед самыми сложными современными системами управления, перед новейшими кибернетическими автоматами. Так, нынешние кибернетические устройства еще очень далеки от человека в своих "способностях" воспринимать информацию в виде

рукописного или печатного текста, в виде чертежей, речи, движущихся изображений и т. п. Большинство современных кибернетических систем, как известно, работает по жестким, заранее заданным программам. Нервной же системе свойственны высокая степень самоорганизации, быстрое приспособление к новым ситуациям, к изменению программ своей деятельности и т. д. А если перейти к процессам мышления, памяти, сознания, то перечень "преимуществ" мозга можно значительно расширить; однако и так достаточно ясно, что технике есть чему поучиться у живой природы. И именно поэтому творцы вычислительной техники с таким упорством и настойчивостью ищут новые пути конструирования вычислительных устройств в аналогиях с работой нервной системы живых существ.

При разработке технической модели нейрона, по-видимому, целесообразно принимать во внимание следующее:

1) модель нейрона должна иметь два возможных состояния, соответствующих возбужденному и заторможенному состояниям;

2) схема модели должна иметь множество входов, на которые в различные моменты времени могут поступать сигналы;

3) на входных участках, контактах, или "клеммах", нейрона должна осуществляться задержка сигнала, аналогичная синаптической;

4) реакция модели на входное воздействие должна зависеть от входа, к которому оно прикладывается;

5) результирующее воздействие на тело нейрона определяется суммой воздействий от всех входов (пространственное суммирование) и предысторией, т. е. суммой предшествующих воздействий с учетом затухания их по экспоненциальному закону с некоторой постоянной времени (суммирование во времени);

6) срабатывание (возбуждение) модели нейрона должно происходить лишь в том случае, если результирующее воздействие поступающих (возбуждающих и тормозящих) сигналов превысит пороговый уровень;

7) при срабатывании модели нейрона на выходе должен появляться стандартный сигнал.

Это, так сказать, исходные данные, которые можно рассматривать как техническое задание на проектирование искусственного нейрона. Однако к техническому моделированию нейрона может быть два подхода, и оба они реально существуют сегодня.

Ученые, принадлежащие к одной школе, стремятся создать модели нервных клеток, воспроизводящие по возможности наиболее точно их биологические функции. Цель их работы

состоит во всестороннем изучении возможных функций нейронов, связанных с обработкой информации, и еще более глубоком уяснении действия биологических систем. Примером модели, сконструированной по этому принципу, может служить нейромим американского инженера Хармона. В его модели возбуждающие входы и один тормозящий связаны в интегрирующую цепь с пространственно-временным суммированием с постоянной т, равной 0,46 — 1,2 мсек (в зависимости от конфигурации возбуждений входных цепей). При возбуждении нейрона создается импульс в соответствии с принципом "все или ничего". Во время формирования импульса и в течение еще примерно 1 мсек порог возрастает и элемент находится в фазе абсолютной рефрактерности; далее следует фаза относительной рефрактерности, в течение которой пороговый уровень спадает по экспоненте до нормального своего значения. Синаптическая задержка в модели Хармона, равная 0,1 — 1 мсек, определяется частотой возбуждения. Синаптический переход и процесс суммации моделируются соответствующими цепями RC. Выбранные здесь параметры хорошо отражают временные характеристики двигательного нейрона.

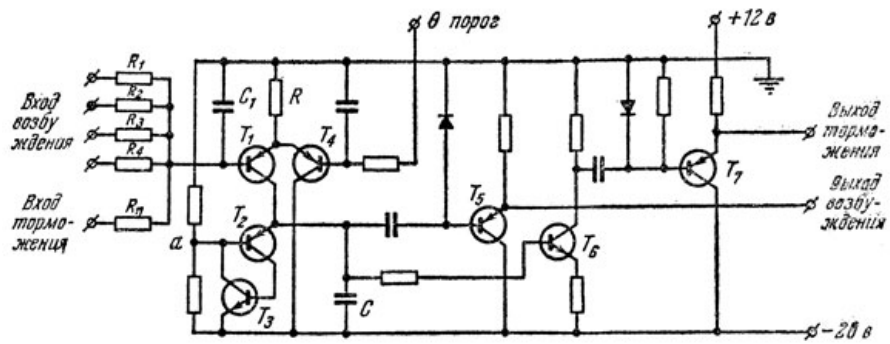


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема искусственного нейрона, разработанная в Институте кибернетики АН УССР

На рис. 3 приведена принципиальная электрическая схема искусственного нейрона, разработанная в Институте кибернетики АН УССР и предназначенная для использования в нейронных сетях. Здесь также осуществляется пространственное и временное суммирование, имеются периоды абсолютной и относительной рефрактерное. Отдельный вход торможения отсутствует, а на базу транзистора T_1 через сопротивления R_1 R_2, ..., R_n подаются положительные импульсы, которые алгебраически складываются с импульсами возбуждения. Когда напряжение на емкости C_1,

обусловленное входными сигналами, достигает уровня, равного или превышающего пороговый ($Uc_1 \geq 0_{порог}$), транзистор T_1 открывается и релаксатор, собранный на T_2, T_3 по схеме Муди-Флорида, вырабатывает отрицательный импульс. Эмиттерный повторитель T_5 подает его на выход возбуждения. Инвертор T_6 и повторитель T_7 формируют тормозящий сигнал. Применение эмиттерных повторителей обеспечивает большой коэффициент логического разветвления схемы. Амплитуда, длительность и крутизна выходных импульсов модели нейрона постоянны и не зависят от частоты и амплитуды входных импульсов. При необходимости все эти параметры можно изменить.

При втором, бионическом, подходе, преследующем цель создания высокосовершенных кибернетических устройств, ученые стремятся строить модели, способные воспроизводить гибкие логические функции нейрона и применимые в устройствах технической кибернетики. Эти модели, естественно, должны быть лишены ряда "недостатков", присущих (с инженерной точки зрения) живым нервным клеткам. Так, например, моделирование такого явления, как пониженная возбудимость в течение относительно длительного периода, необходимого для отдыха и пополнения запаса энергии, израсходованного при возбуждении нейрона, может сказаться на быстродействии кибернетического устройства, что в ряде случаев крайне нежелательно.

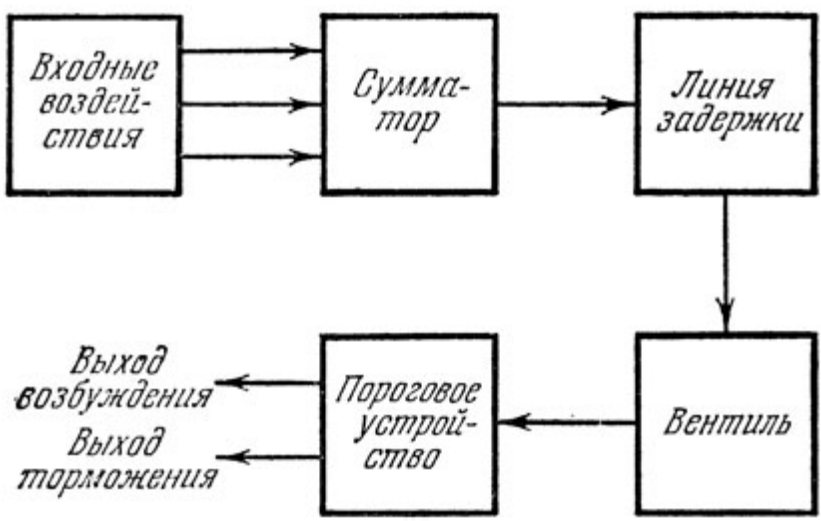


Рис. 4. Обобщенная блок-схема искусственного нейрона

Абстрагируясь от физиологических особенностей и используя только "логику" нейронов, ученые за последние годы создали ряд формальных моделей нервной клетки, для которых характерны,

например, следующие признаки: активность нейрона, т. е. его способность генерировать выходной сигнал, подчиняется принципу "все или ничего", "да — нет", "нуль — единица"; возбуждению нейрона предшествует некоторый период накопления сигналов возбуждения от ограниченного числа входов (синапсов). Это время не зависит от предыдущего состояния нейрона (рефрактерность не моделируется), число сигналов и порог не зависят от расположения синапсов в нейроне; запаздывание в схеме происходит только в синапсах. Обобщенная блок-схема такой модели показана на рис. 4.

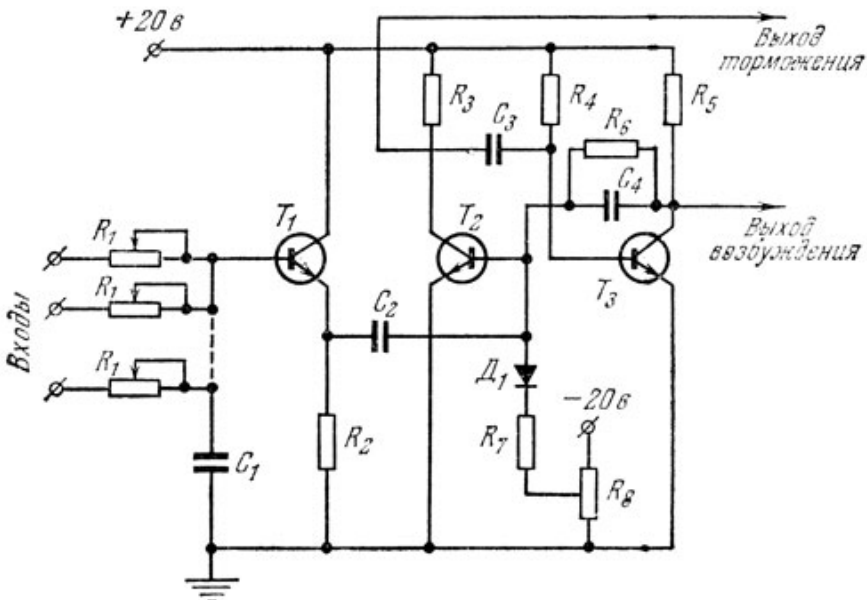


Рис. 5. Принципиальная электрическая схема модели нейрона

Как видно из рисунка, входные воздействия поступают на сумматор, где происходит их пространственное суммирование. Линия задержки имитирует замедление сигнала на синапсах и осуществляет временное суммирование. Вентиль пропускает обработанный предыдущими каскадами сигнал на пороговое устройство, срабатывающее только при достижении сигнала на его входе определенного уровня. Передача возбуждения через вентиль в обратном направлении невозможна.

На рис. 5 приведена электрическая схема модели нейрона, выполненная на транзисторах. Суммирование входных воздействий осуществляется резисторами R_1. Изменяя их величину, можно менять степень влияния данного входа на состояние "нейрона". Совместно с C_1 они выполняют и функцию

задержки. В качестве порогового элемента здесь применен ждущий мультивибратор, собранный на транзисторах T_2 и T_3 В устойчивом состоянии T_3 открыт и потенциал на его коллекторе примерно равен нулю, вследствие чего T_2 закрыт. Дополнительное запирающее смещение, снимаемое с резистора R_8, определяет порог срабатывания мультивибратора. Сигнал на мультивибратор подается через эмиттерный повторитель, который обеспечивает одностороннюю передачу и выполняет роль вентиля с одновременным усилением результирующего возбуждения. При достижении порогового уровня возбуждения схема переходит в состояние квазиравновесия, при котором напряжение на коллекторе T_2 быстро падает до нуля. Длительность пребывания в этом состоянии определяется емкостью конденсатора C_3 и сопротивлением резистора R_4. Через время $t \approx 3R_4C_3$ сек происходит опрокидывание схемы. При этом на выходе возбуждения формируется положительный , а на выходе торможения — отрицательный импульсы длительностью t.

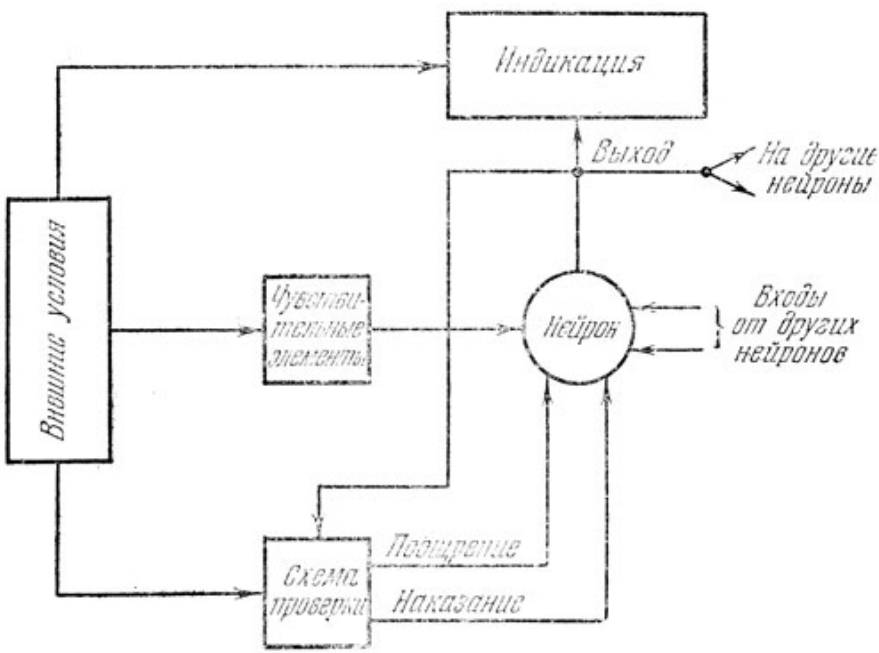


Рис. 6. Блок-схема артрона

На вход этой модели подаются с различными интервалами импульсы определенной амплитуды с длительностью 1 мсек. На выходе схемы при ее срабатывании получается импульс длительностью 1 мсек и амплитудой 15 в. Максимальная частота срабатывания модели — 500 гц. Эта схема хорошо воспроизводит основные характеристики биологического нейрона, но не

способна к адаптации, т. е. к изменению характера работы при изменении окружающих условий.

Этого недостатка лишены аналоги нейронов, получившие название артронов. Они отличаются наличием цепи обратной связи и двух дополнительных входов — "наказывающего" и "поощряющего". Схематически это показано на рис. 6. Внешние условия преобразуются чувствительными элементами в раздражения, которые подаются на входы искусственного нейрона. Информация поступает и от соседних нейронов.

Поскольку "необученная" модель нейрона совершенно не знает, как вести себя при определенных внешних условиях и сигналах от соседей, ее выходной сигнал при поступлении первого раздражения имеет чисто случайный характер. Но за свои действия искусственному нейрону все же придется отвечать без скидки на младенческий возраст! Выходной импульс, поступающий на другие нейроны, одновременно подается на схему проверки. Если реакция нейрона на раздражение была правильной, то эта схема выдает импульс на поощряющий вход, если же он ошибся, то немедленно на другой вход приходит импульс наказания. Действия, подкрепленные поощряющим сигналом, запоминаются нейроном, и в другой раз при аналогичных условиях он будет выполнять именно их. Если же со схемы проверки поступает наказание, то в следующий раз при таком же возбуждении нейрон сработает по-другому и, возможно, опять будет наказан. Это будет происходить до тех пор, пока не будет найдена "правильная линия поведения", т. е. пока не поступит поощряющий импульс. Для ясности заметим, что в этом случае нейроны не являются теми первичными образованиями, которые могут принимать только два состояния — "да" или "нет", а представляют некоторую их комбинацию, способную принимать большее число состояний.

Таким образом, состояние рассмотренной схемы зависит от внешней среды. Из артронов можно создать машину, способную к обучению. В начальный момент она, как и сами артроны, не специализирована. Обучение машины происходит с помощью поощряющих и наказывающих импульсов. Во время обучения машины определяются ее задачи, устанавливается критерий адаптации к широко изменяющимся внешним условиям. Цепь обратной связи в процессе обучения "учитывает" ошибки. На основе поощрения или наказания произведенной логической операции устанавливается такой режим работы, который способствует закреплению или подавлению этой операции. Узнаете? Речь идет о перцептроне. Адаптивные элементы перцептрона и есть артрон, а "правильные" связи между ними и

эффекторами — это совокупность логических операций, которые не подавляются.

Так в результате "обучения" нейроны становятся специализированными, а вся система — организованной. Изменение внешних условий вызывает переход на другие логические операции — внешние условия программируют машину!

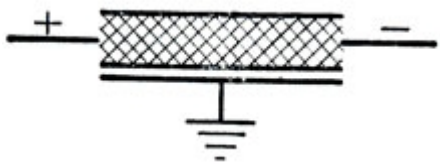


Рис. 7. Нейристор с распределенными параметрами

Разработано также несколько вариантов бионических элементов — нейристоров, представляющих собой активные приборы с распределенными параметрами. Один из возможных вариантов такого устройства показан на рис. 7. Оно представляет собой две изолированные полоски, образующие плоский конденсатор. Одна из обкладок этого конденсатора выполнена из термисторного материала, электрические свойства которого зависят от температуры. Нейристор питается током, который создает равномерный потенциал по всей длине прибора. При подаче возбуждения на определенный участок нейристора он переходит в активное состояние и освобождает энергию, накопленную распределенной емкостью на этом же участке. В результате происходит местный разогрев термистора, что вызывает возбуждение соседнего участка канала. В итоге образуется бегущая волна раздражения, распространяющаяся с постоянной скоростью, подобно тому как это происходит в аксоне — разряд распространяется с постоянной скоростью и без затухания. Прежде чем разряженный участок снова сможет перейти в активное состояние, в нем должно произойти накопление энергии (зарядка конденсатора); иными словами, наступает период восстановления, соответствующий периоду рефрактерности нервного волокна. "Это свойство, — как отмечает академик В. В. Парин, — еще более усиливает сходство нейристора с нервным волокном — две волны, идущие навстречу друг другу, угасают".

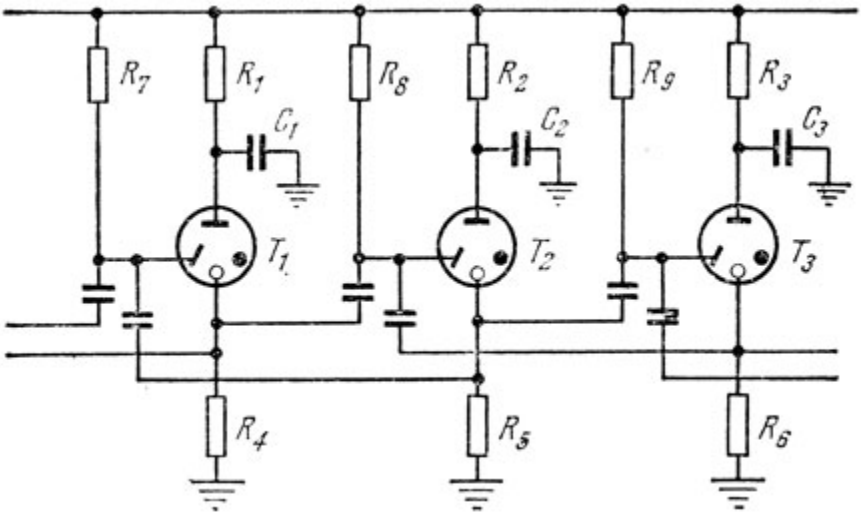


Рис. 8. Нейристор, выполненный на дискретных элементах

Разработаны и нейристоры с сосредоточенными параметрами. На рис. 8 приведена одна из возможных схем, выполненная на тиратронах с холодным катодом. Такой нейристор представляет собой цепь соединенных последовательно моностабильных схем. В заторможенном состоянии емкости C_1, C_2, C_3 заряжены и хранят определенный запас энергии. Величины сопротивлений R_7, R_9, R_8 выбираются так, чтобы тиратроны не загорались. Если на поджигающий электрод одного из тиратронов подать "раздражающий" импульс, то он вспыхнет, и время его горения будет определяться временем разряда анодной емкости. При этом на катодном сопротивлении формируется импульс, поступающий на входы соседних тиратронов и поджигающий их. После разряда емкости тиратрон гаснет и на время ее повторного заряда, имитирующее период рефрактерности, нечувствителен к возбуждающим импульсам. Таким образом, поданный на схему импульс начинает распространяться в обе стороны от точки, к которой он был приложен, оставляя после себя зону рефрактерности.

Если нейристор сделать в виде замкнутой линии, то в нем будет длительное время циркулировать возбуждающий импульс. Это можно использовать для запоминания двоичной величины: циркуляция импульса эквивалентна единице, его отсутствие — нулю. Соединяя определенным образом нейристоры, получают логические устройства. Такие устройства отличаются высокой однородностью, присущей самим нейристорам, у которых прибор и соединительные провода представляют одно целое. Соединение

нейристоров в сложные сети может выполняться без пассивных соединительных элементов, которые вносили бы в схему неоднородности, что в свою очередь могло бы исказить передаваемый по такой цепи сигнал.

Официально в зарубежной литературе создателем нейристора, т. е. технического устройства, моделирующего определенные свойства нейрона и сочетающего в себе дискретные и непрерывные свойства, считается Крейн. Между тем следует отметить, что в нашей стране физические реализации нейристорной модели были предложены уже давно. Для них характерно использование квантового эффекта, в частности явления так называемого отрицательного резонансного поглощения света в устойчивой среде.

Один из вариантов квантового нейристора представляет собой систему из оптического генератора и световода, заполняемого активным веществом, "усиливающим" свет, с показателем преломления, превышающим показатель преломления окружающей среды. Помимо чрезвычайно высокого быстродействия нейристора (10 — 12 сек), такая система сокрывает широкие возможности компактного выполнения нейристорных сетей и континуальных моделей[25]. При использовании полупроводниковых квантовых генераторов характеристики нейристоров значительно улучшаются.

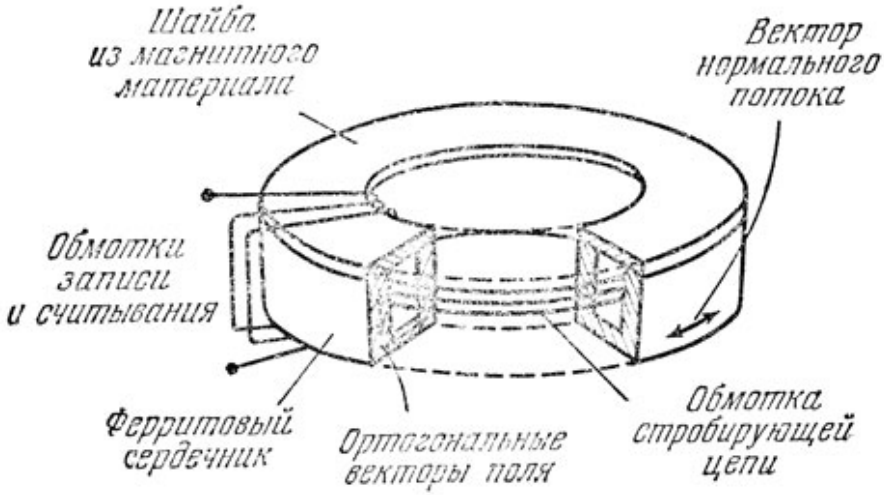


Рис. 9. Магнитный интегрирующий аналог нейрона

Следует также отметить, что уже несколько лет ведутся разработки нейристоров с использованием тонких пленок. Если в дальнейшем удастся технически просто реализовать нейристор в виде микроминиатюрного устройства на тонких пленках, это, по-видимому, позволит создавать необычайно интересные схемы, но некоторым своим свойствам приближающиеся к живой ткани.

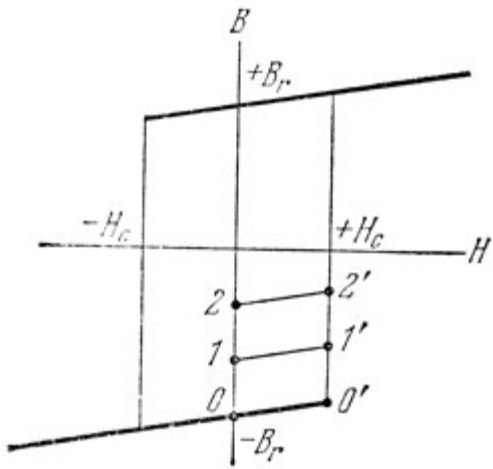


Рис. 10. Прямоугольная петля гистерезиса и процесс накопления информации в сердечнике магнитного аналога нейрона

На рис. 9 схематически изображен магнитный интегрирующий (накапливающий) аналог нейрона (MIND). Основой этого элемента служит магнитный сердечник из феррита с прямоугольной петлей гистерезиса. Внутри сердечника имеется

канал, в котором проходит стробирующая обмотка. Сверху канал закрыт шайбой из материала с большой магнитной проницаемостью. На сердечнике имеются обмотки записи и считывания, которые часто совмещаются. Сердечник реагирует только на входные воздействия, способные создавать напряженность магнитного поля, превышающую коэрцитивную силу H_c. Пусть вначале сердечник находится в состоянии, характеризующемся точкой О (рис. 10). С приходом первого "раздражения" он перейдет в состояние 1', а после его окончания — в состояние 1. Следующее "раздражение" переведет сердечник в состояние 2' и т. д. Таким образом, в сердечнике происходит накопление энергии, которая является в данном случае носителем информации.

Считывание осуществляется подачей в нужный момент стробирующего импульса, который вызывает появление поля, перпендикулярного исходному. Происходит изменение вектора результирующего поля в сердечнике, и на выходной обмотке наводится сигнал, величина которого зависит от предыдущего состояния сердечника, т. е. пропорциональна накопленному в результате предшествующих экспериментов ("обучения") магнитному потоку.

Достоинством такого элемента является отсутствие расхода энергии на хранение информации и сохранение состояния сердечника даже при выключении устройства. Кроме того, такие элементы отличаются очень высоким быстродействием.

Работы по созданию бионических элементов, способных выполнять логические функции живых нервных клеток, из года в год принимают все больший и больший размах. Достаточно сказать, что уже сейчас имеется несколько сот моделей искусственных нейронов, которые в большей или меньшей степени отражают свойства реальных нейронов. Некоторые из них, такие, как артроны, нейристоры и др., успешно используются сегодня для усовершенствования технических средств связи, вычислительных и управляющих машин. Предпринимаются попытки разработать (по аналогии с живыми) искусственные нейроны в виде микрокомпонент коллоидных (10^{-5}-10^{-7} см) и молекулярных размеров (10^{-7}-10^{-8}см). С этой целью исследуются полупроводниковые микроструктуры (двух- и трехмерные схемы из проводящих элементов в изолирующей среде), коллоидные системы с дисперсной сажей, образующие проводящие нити в изолирующих жидких растворах, а также различные микропористые структуры. Изучаются также атомные системы в различных кристаллических и полимерных структурах.

В заключение нашего краткого обзора моделей

искусственных нейронов различного типа рассмотрим электрохимический элемент памяти, так называемый мемистор. Один из вариантов мемистора показан на рис. 11. Входное воздействие преобразуется в постоянный ток, цепь которого замыкается через центральный электрод 1, электролит 2 и кольцевой электрод 3. Электролитом обычно служит раствор медного купороса. Прохождение через него постоянного тока вызывает осаждение (или снятие) на электроде 1 слоя меди, что и изменяет его электрическую проводимость. При изменении анодного тока на несколько миллиампер сопротивление мемистора за 10 сек плавно изменяется от 100 до 1 ом. Измеряют это сопротивление на переменном токе, чем исключается влияние сигнала считывания на процессы электролиза, происходящие в элементе. Вследствие малого разброса параметров мемисторов обеспечивается возможность создания большого количества запоминающих уровней. Из таких элементов построены, например, самоприспосабливающиеся нейроны, служащие запоминающими элементами в адаптивных системах с обучением.

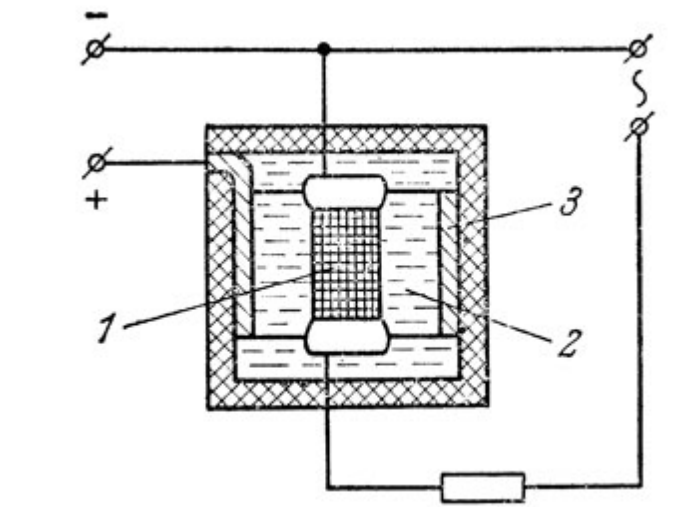


Рис. 11. Электрохимический аналог нейрона — мемистор

Итак, сегодня уже не приходится сомневаться, что создание достаточно совершенного, дешевого и миниатюрного аналога нейрона откроет широкие возможности для построения различных обучающихся, самопрограммирующихся, самоорганизующихся, самонастраивающихся, самоприспосабливающихся систем, т. е. систем, обладающих свойством автоматически изменять свои параметры в соответствии с изменением внешних условий. Такие системы, как указывает академик В. А. Трапезников, — "это близкое завтра

автоматики и, несомненно, следующая, более высокая ступень прогресса человеческого общества".

Необходимость создания самонастраивающихся и самоорганизующихся систем ныне возникает в самых разнообразных областях техники. Такие системы должны обеспечить наибольшую эффективность работы управляемого объекта в существенно изменяющихся условиях. Это положение распространяется на объекты, действующие непрерывно, периодически и спорадически. Однако наибольшее значение в современных условиях имеет проблема использования самонастраивающихся систем для управления непрерывными процессами. Такими системами можно, например, воспользоваться для полной автоматизации управления рядом химических производств, доменным процессом, прокатом металла, сваркой труб и т. п.

Самонастраивающиеся системы дают возможность не только автоматизировать управление сложными производственными процессами, не только автоматически отыскивать наивыгоднейший режим работы той или иной установки и поддерживать его в дальнейшем. Добавление к самонастраивающейся системе емкой "памяти" позволит создавать самообучающиеся системы, способные определять наивыгоднейший режим не только путем поиска, но и путем ассоциации, т. е. ориентируясь на условия, которые существовали в прошлом.

Оценивая степень эффективности приемов управления, отбрасывая менее эффективные и запоминая более эффективные приемы, такие системы смогут непрерывно совершенствовать их и благодаря этому весьма оперативно и эффективно управлять течением процессов в изменяющихся условиях. Для тех случаев, когда структуру систем нельзя определить заранее, можно представить себе такие системы управления, которые сами будут выбирать необходимые источники информации, способы ее обработки и направление воздействий. Подобные устройства уже будут являться самоорганизующимися системами управления.

Хотя разработка аналогов нейрона началась совсем недавно, уже сейчас можно указать ряд практических задач, которые решаются на основе имитации некоторых свойств естественного нейрона. Так, например, разработан адаптивный, или самоприспосабливающийся, фильтр для выделения на фоне шумов сигналов произвольной формы, когда заранее неизвестно, есть ли сигнал на входе приемной системы. В отличие от обычного фильтра, пропускающего сигналы с заранее известными, определенными признаками (длительность

импульсов, частота повторения, отношение сигнал/шум), адаптивный фильтр пропускает сигналы с различными параметрами.

Принцип действия адаптивного фильтра основан на быстрой автоматической подстройке фильтра на форму приходящего сигнала путем непрерывного сравнения сигнала заданной формы с сигналом, поступающим на вход. Наиболее частое совпадение признаков сигналов свидетельствует о полезном сигнале в запоминающем устройстве. После некоторого времени приспособления (порядка нескольких секунд) в памяти формируется точная форма приходящего импульса, и фильтр начинает пропускать все импульсы этой формы. После прекращения сигналов информация о его признаках в запоминающем устройстве стирается, фильтр начинает пропускать только шумы. При появлении на входе фильтра сигнала другой формы весь процесс повторяется.

Другая система — "Кибертрон" — способна самостоятельно выбирать оптимальный подход к решению различных задач. Одной из задач может быть, например, диагностирование заболевания по виду электрокардиограмм. Машине предъявляют ленты с графической записью биотоков сердца больного, и она точно ставит диагнозы. "Кибертрон" можно также использовать для оценки метеорологических данных.

На основе элементов с характеристиками нейристоров инженеры создали устройство, воспроизводящее процессы запоминания, опознавания и заучивания. Подобная модель нашла применение в машине В. Тейлора, которая после экспонирования различных предметов, например букв, узнавала их при повторной демонстрации. На элементах MIND собран прибор, успешно выполняющий логическую функцию опознавания многочисленных вариантов входных рисунков, составленных из нескольких информационных сигналов.

По заданию ВВС США ряд американских фирм ведет разработки так называемых "познающих" машин на артронах. В электронной машине, созданной одной американской фирмой, пути прохождения сигнала между воспринимающими чувствительными элементами и артронами, а также между отдельными артронами изменяются по случайному закону до тех пор, пока не будут выбраны оптимальные пути. Когда машина приступает к решению новой задачи, она, несмотря на предыдущее "обучение", возвращается в первоначальное состояние, характеризующееся случайными путями прохождения сигнала. Возможность "обучения" обеспечивается наличием четырех быстродействующих переключателей в соединительных

цепях логических схем каждого артрона с его выходом.

Считают, что подобные машины могут быть использованы для следующих целей:

улучшение методов автоматического предсказания погоды;

автоматическое управление беспилотными космическими летательными аппаратами для исследования планет;

создание быстродействующих командных машин для штабов войсковых подразделений, что позволит вырабатывать решения при подготовке и проведении различных операций;

управление оборудованием, работающим в опасных условиях.

В литературе описана самоприспосабливающаяся система управления полетом реактивных самолетов. Система анализирует свою работу путем сравнения реакции самолета с решением электронного устройства, и разностный сигнал используется для воздействия на органы управления самолетом. Автоматическое управление осуществляется при изменившихся окружающих условиях (плотности и скорости воздуха) без измерения этих величин. Система не требует предварительного программирования условий полета с учетом летных характеристик самолета.

Считают, что адаптивные, самоприспосабливающиеся автопилоты, которые обладают свойством непрерывно проверять положение в пространстве летательного аппарата и корректировать любые отклонения от заданного положения при изменяющихся условиях полета, можно с успехом использовать также на ракетах и даже на космических кораблях.

Итак, начало положено. Созданы машины, воспроизводящие некоторые функции нервной системы человека. Один из создателей теории автоматического управления Уильям Эшби сказал по этому поводу: "С тех пор, как был разработан первый перцептрон "Марк-1", мы знаем, что мозг и вычислительные машины представляют собой просто различные варианты в принципе одинаковых машин". Было время, когда создатель перцептрона, доктор Розенблат, утверждал, что его детище — это не просто машина для распознавания образов, а — ни много, ни мало — модель мозга.

Однако это утверждение встретило весьма серьезные возражения.

Дело здесь прежде всего в количественных отличиях. Перцептрон моделирует — и весьма несовершенно — только функции зрительного анализатора человека. А зрение — только одно из пяти его чувств. Далее. Число ассоциативных ячеек перцептрона, которое определяет его "умственные способности", равнялось в первой модели всего 512. Оно столь ограничено

прежде всего вследствие трудностей технического порядка и, в частности, из-за чрезвычайной сложности монтажной схемы; в самом деле, от каждой из 400 рецепторных ячеек перцептрона отходит 40 выходных проводников, подключаемых в случайном порядке к 512 ассоциативным ячейкам, каждая из которых имеет от 10 до 100 выходов.

А между тем число нейронов в мозгу человека порядка 10 миллиардов. Если распространить тезис Эшби на обычные цифровые вычислительные машины, то и тогда разница между числом их переключающих элементов и числом нейронов в центральной нервной системе оказывается весьма существенной: самые большие из современных вычислительных машин имеют сотни тысяч таких элементов.

По ряду своих параметров мозг представляет собой настолько высокосовершенную "конструкцию", что, как полагают ученые, вряд ли удастся искусственно воспроизвести ее в течение ближайших 50 лет. Очень выпукло выразил эту мысль английский физик Дж. Томсон в своей книге "Предвидимое будущее": "Тот сложный инструмент, которым все мы обладаем, или, если хотите, каковым мы все являемся, с его 10 миллиардами рабочих деталей и бесчисленным множеством возможных связей, неизмеримо превосходит все то, что мы когда-либо, по-видимому, сумеем создать, и он так непохож на организованную материю, которую мы, физики, изучаем!"

Одна из важнейших особенностей мозга — его способность надежно работать с большими резервами и с ничтожно малой затратой энергии, обладая фантастически малыми габаритами и ничтожным весом. Так, например, мозг Анатоля Франса весил 1017 г, А. П. Бородина — 1325 г, Д. И. Менделеева — 1571 г, И. П. Павлова — 1653 г, И. С. Тургенева — 2012 г. В среднем мозг нормального человека весит 1375 г и имеет объем от 1,5 до 2 $дм^3$. Общее рассеяние энергии в мозгу достигает примерно 10 вт, т. е. около 10^{-9}вт на нейрон. По некоторым литературным данным, из сравнения линейных размеров, объемов и рассеяния энергии вытекает, что естественные элементы мозга эффективнее современных ЭЦВМ примерно в 10^8 — 10^9 раз!

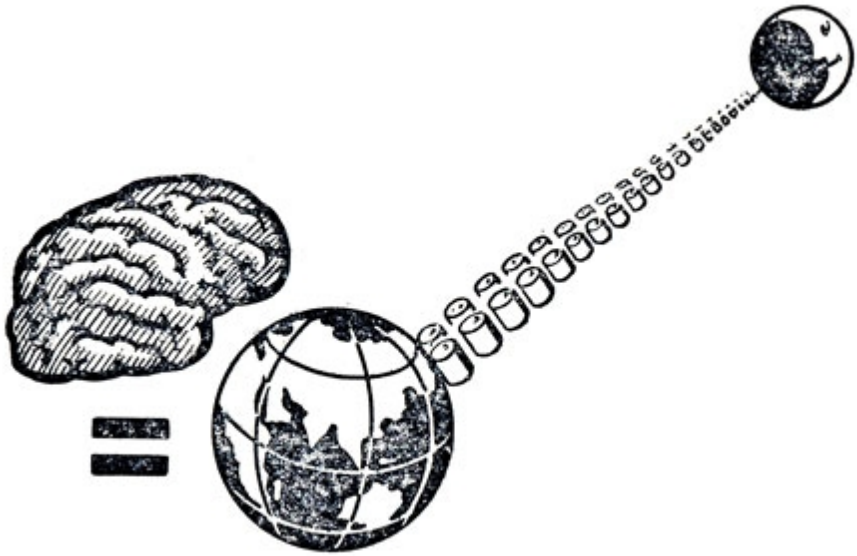


Рис. 12. Если бы мы взяли самые маленькие из существующих ныне простейших реле диаметром в 1 см, чтобы составить из них искусственный мозг, то их цепочка дважды протянется от Земли до Луны

Говоря о технических характеристиках мозга, трудно обойтись без тривиальных сравнений. Если бы мы взяли самые маленькие из существующих ныне простейших реле диаметром 1 см в количестве 17 миллиардов штук (по числу нейронов в человеческом мозгу), то их цепочка протянулась бы от Земли до Луны в два ряда (рис. 12). Теперь представьте себе, что мы захотели бы построить универсальную вычислительную систему на обычных электронных лампах с таким же количеством элементов, какое имеет мозг. Подобное устройство могло бы разместиться примерно в таком высотном здании, как Московский государственный университет, весило бы более миллиона тонн, и для его питания была бы необходима энергия десяти Братских ГЭС (!), а для охлаждения — река Ниагара. При использовании в качестве элементов релейного действия триггеров на полупроводниках объемом 1 — 2 $см^3$ каждый наша вычислительная машина после осуществления всех разводок и соединений не уступала бы по размерам современному большому жилому дому и потребовала бы энергии нескольких Днепрогэсов! А сколько времени потребовалось бы только для изготовления такого количества элементов? Если предположить, что изготовление модели нейрона длится 1 сек (пока мы такими возможностями еще не располагаем) и это производство начато в

1968 г., то последний аналог нейрона из гигантской партии в 17 миллиардов штук будет сдан в отдел технического контроля в конце 2393 г. Время, которое потребуется на монтаж и настройку такой электронной машины, вообще никакой оценке не поддается.

За последние 25 — 30 лет сложность электронных устройств увеличилась примерно в 1000 раз, причем конструкторы электронных систем продолжают разрабатывать устройства все возрастающей сложности, требующие все большего и большего количества деталей. Обсуждая недавно проблему использования вычислительной техники для целей проектирования цифровых систем, ученые отметили, что "...сложность цифровых систем будущего приводит к выводу, что такая методика проектирования является фактической необходимостью. В настоящее время ведется разработка многих систем, содержащих сотни, тысячи и даже миллионы активных элементов". Само собой разумеется, что вместе с неограниченным ростом числа элементов в электронных системах обеспечение эксплуатационной надежности последних является ныне, выражаясь словами академика А. И. Берга, "проблемой № 1". Достаточно выйти из строя какой-либо одной детали — и работа электронной системы нарушается, а то и вовсе прекращается на длительное время, так как только на поиски неисправности приходится тратить много часов. Ведь был же такой случай на Всемирной выставке в Брюсселе. Одной электронной машине поручили распределение мест в гостиницах. Из-за технической неисправности машина выдавала нелепые рекомендации — направляла гостей в занятые уже номера. В итоге произошла крупная неприятность: 50 тысяч туристов на одну ночь остались без крова...

Этот случай на первый взгляд может показаться анекдотичным, но за ненадежность электронной аппаратуры в наше время нередко приходится расплачиваться не только отсутствием крова на ночь или потерей вечернего развлечения (в случае выхода телевизора из строя), но и более дорогой ценой — колоссальными экономическими потерями вследствие простоев автоматических линий и цехов, нарушения производственных процессов целых предприятий, где "командиром" является электрон, а иногда и человеческими жизнями. И еще надо иметь в виду следующее. Надежность электронной аппаратуры — это не только обеспечение бесперебойной работы, но еще и гарантия высокой точности ее работы. Например, кремний для полупроводниковых фотоэлементов должен обладать неслыханной чистотой: допустимо не более одного атома посторонней примеси на каждые 10 миллиардов атомов

полупроводника. Аппаратура, которая контролирует чистоту кремния, должна, естественно, отличаться необыкновенной точностью работы, а значит, и исключительной надежностью. Надежность, т. е. вероятность безотказной работы в течение заданного отрезка времени в определенных эксплуатационных условиях, — важнейшая характеристика современной сложной электронной аппаратуры. Надежность электронной системы равна произведению надежностей всех входящих в нее элементов. Поэтому, если предположить, что вероятность безотказной работы искусственного нейрона в течение 1000 час составляет 0,999, то надежность гипотетического искусственного мозга, состоящего из 1010 таких нейронов, составит 0,99910 — ничтожно малое число, которое следует интерпретировать таким образом, что машина не проработает и секунды после первого включения.

Еще пример. Если в системе управления ракетой имеется тысяча электронных компонент и надежность каждой равняется 0,95, то общая надежность системы выразится десятичной дробью, в которой перед первой значащей цифрой после запятой будет стоять 21 нуль! Такая надежность соответствует следующей ситуации: если ежесекундно запускается миллион ракет, то в течение 300 миллионов лет лишь один запуск окажется вполне удачным. В остальных случаях на той или иной стадии полета в ракете возникнет неисправность.

Между тем современные ракеты насчитывают гораздо большее число деталей, чем мы предположили в нашем примере. В частности, система управления американского межконтинентального снаряда "Атлас" состоит более чем из 300 000 элементов. Если принять, что в среднем при каждом запуске ракеты выходит из строя 1 деталь из 100 000, а это, по американским данным, близко к действительному положению дел, то из 100 запусков лишь около 5 окажутся удачными. В остальных случаях в газетах появятся сообщения: "Вчера на мысе Кеннеди произведен очередной запуск ракеты... Из-за неисправностей в системе управления... по команде с Земли ракета была взорвана в воздухе".

Причин к выходу из строя той или иной детали в современной электронной аппаратуре довольно много: здесь и широкий интервал изменения температур и давления, недолговечность многих компонент, удары, вибрации, пыль, влажность, грибки, радиация и т. д. Другое дело — человеческий мозг. Хотя его отдельные элементы, по-видимому, не более надежны, чем элементы любого электронного устройства, мозг человека способен функционировать непрерывно и бесперебойно

в течение длительного времени — на протяжении всей жизни человека в самых разнообразных условиях: в жару и в стужу, в кромешной тьме и при ослепительном сиянии Солнца, в полном одиночестве и в контакте с тысячью умов. Его подвергают наркозу, но человек не погибает от расстройства дыхания. Большие дозы алкоголя опьяняют мозг, но и в таком состоянии он помогает своему "хозяину" найти дорогу домой. Нередко мозг претерпевает механические, термические, биологические, лучевые травмы, кровоизлияния, инфекционные процессы разрушают те или иные участки центральной нервной системы, гибнут тысячи нейронов, а мозг продолжает жить и творить. Так, например, в недавно изданной у нас книге Д. Вулдриджа "Механизмы мозга" описан поразительный случай, происшедший в сентябре 1848 г. со старшим мастером бригады дорожников-строителей Финеасом Гейджем.

> "По-видимому, — пишет Вулдридж, — Гейдж заложил пороховой заряд в отверстие, пробитое в скале, подготовляя очередной взрыв. После этого его помощник должен был, как обычно, засыпать порох сверху песком.
>
> По какой-то причине это не было сделано, а Финеас Гейдж пренебрег проверкой выполнения этой операции. Вместо этого, полагая, что порох прикрыт песком, он опустил в отверстие тяжелую железную трамбовку, не придерживая ее. Результат был катастрофическим: железная палка, ударившись о скалу, высекла искру, воспламенила порох и устремилась к небесам. На своем пути эта палка длиной больше метра и толщиной 3 сантиметра насквозь пронзила головной мозг Гейджа, войдя через его левую щеку и выйдя около темени.
>
> В течение часа Гейдж находился в оглушенном состоянии, после чего он смог с помощью сопровождавших его людей пойти к хирургу и по дороге спокойно и невозмутимо рассуждал о дырке в своей голове. В конце концов он оправился от инфекции, развившейся в ране, и прожил еще 12 лет. Гейдж кончил свою жизнь в Сан-Франциско, где он умер при обстоятельствах, потребовавших вскрытия тела. Несомненно, что только благодаря этому случайному обстоятельству ученые-медики смогли проверить эту историю путем прямого исследования поврежденного мозга. Выяснилось, что не только левая лобная доля подверглась тяжелому повреждению, но травма распространилась и на правую лобную долю...

> Как ни поразителен был счастливый исход столь внушительной травмы, не менее поразительными оказались ее последствия. Поражало в них именно отсутствие резких изменений психики. Гейдж по-прежнему оставался дееспособной личностью: у него не обнаруживалось никакой потери памяти, и он был в состоянии заниматься своим делом".

Череп Гейджа и железная палка ныне экспонируются в Гарвардском университете как символ исключительной надежности человеческого мозга.

Возможно, описанный случай, происшедший с Фине-асом Гейджем, является в истории медицины беспрецедентным. Но если вы поговорите с любым нейрохирургом, то он расскажет вам о десятках и сотнях других самых невероятных, порой фантастических случаях, когда больным вместе с опухолями, осколками мин и снарядов удаляли значительную часть мозга и они по выздоровлении продолжали плодотворно работать, причем в сфере интеллектуального труда. И в этом нет ничего удивительного. Надежность — ключевая, острейшая проблема современной радиоэлектроники и кибернетики — блестяще разрешена живой природой в устройстве головного мозга и нервной системы человека. И не только человека, но и животных. Высочайшая надежность биологических систем возникла в результате длительного эволюционного процесса в условиях изменчивой внешней среды. В жестокой конкурентной борьбе за существование, длившейся сотни и тысячи миллионов лет, живые организмы и, в частности, мозг обрели ту надежность, которой мы не перестаем сегодня восхищаться.

В прошлом феноменальную надежность мозга некоторые ученые пытались объяснить его способностью регенерировать (восстанавливать) поврежденные или погибшие нервные клетки. Когда же было установлено, что нейроны не восстанавливаются, возникло другое предположение. Стали считать, что долговечность и надежность нашей сложнейшей "кибернетической машины" обеспечивается ценой многократного дублирования и резервирования[26] ее нервных клеток подобно тому, как это делается при конструировании современных электронных систем. Однако расчеты показали, что тогда мозг человека был бы в десятки тысяч раз больше, чем на самом деле.

Каковы же принципы, заложенные в схему регулирования жизненных процессов организма и обеспечивающие столь высокую надежность работы мозга?

Один из них — охранительное "запредельное" торможение.

Реакция организма на сигнал раздражителя тем сильнее, чем сильнее сигнал. Но до определенного порога. Выше его реакция ослабевает, а затем прекращается совсем. Организм охраняет себя от чрезмерного возбуждения нервных клеток. Ученые поставили такой опыт. У собаки создали рефлекс на звонок. С увеличением силы звука увеличивалось слюновыделение. Но когда звук становился сильнее определенной величины, выделение слюны уменьшалось, а затем и совсем прекращалось. Это объясняется тем, что раздражитель стал непосильным для нервной системы животного, и тогда сработала система запредельного торможения, сделав возможным восстановление в дальнейшем нормальной работы нервных клеток. Так природа отражает нападение слишком грозного противника. Особенно чутко и быстро реагирует на опасное усиление раздражителя ослабленный, больной организм.

Поскольку многочисленными экспериментами было установлено, что торможение наступало каждый раз после того, как клетки были возбуждены, ученые пришли к заключению, что переход в заторможенное состояние нервных клеток следует рассматривать как активное вмешательство организма в деятельность своих элементов с целью перевода их в нерабочее состояние для восстановления пониженной работоспособности. Помимо такого "профилактического ремонта на ходу" клетки ежесуточно "ремонтируются" более основательно: сон позволяет хорошо отдохнуть всей центральной нервной системе. Поэтому наш мозг с самых ранних лет и до смертного часа действует одинаково ясно и энергично.

Другим важным фактором, обеспечивающим высокую надежность головного мозга, является способность нервных центров к быстрой функциональной перестройке и обучению. Провели такой опыт. Собаке под наркозом пришили сухожилия мышц-сгибателей к разгибателям, а сухожилия разгибателей — к сгибателям. После операции, когда собаке нужно было согнуть лапу, она ее... разгибала. Но это продолжалось недолго. Время — великий целитель, а способность нервных клеток к переучиванию огромна. Произошла перестройка нервных центров, и животное научилось правильно владеть своими конечностями.

Третье "конструктивное ухищрение", предпринятое природой в целях обеспечения высоконадежной работы головного мозга, заключается в целесообразном сочетании самоуправления с центральной регуляцией. Нож хирурга и эксперименты физиологов позволили установить, что система регулирования жизненных функций организма "многоэтажна". Высший этаж — кора больших полушарий, низший — система саморегуляции

отдельных органов. Животное, лишенное коры головного мозга, утрачивает способность к выработке условных рефлексов. Но оно живет, двигается, способно поглощать пищу, которую ему положили в рот. Оно "управляется" деятельностью двигательных центров, расположенных в отделах мозга, лежащих под корой. Если перерезать нервы, идущие к мышцам, управление нарушится. Но сами мышцы еще могут сокращаться под действием электрического тока или химических раздражителей. Более того, у животных есть "автоматические механизмы", например сердце. Вынутое из организма, оно может еще очень долго работать — сокращаться (если пустить по его сосудам обогащенную кислородом кровь). Такое построение нервной системы (сочетание относительной самостоятельности низших регуляторов с их подчинением высшим мозговым центрам) служит одним из важнейших условий надежной работы мозга.

Но и это еще не все.

Вездесущая сеть нервов, помимо виртуозной передачи импульсов-приказов, умеет еще и другое, не доступное пока никаким электронным системам: она сама, без всякой помощи извне, налаживает связи с подчиненными органами. Любой нерв прокладывает себе путь среди множества клеток и волокон, уверенно пробивается к цели среди растущих, непрерывно перемещающихся тканей зародыша. Просто диву даешься, как удается ему опознать "своих", как умудряется какая-нибудь нейронная ветка, затерянная среди тысяч таких же волоконец, всегда отыскивать один и тот же нервный ствол и, вплетаясь в него, доставлять сигнал в заданный участок мозга.

Один дотошный экспериментатор решил проверить, сохранится ли это удивительное чутье, самоопознавание растущих нейронов, если изменить обстановку, пересадить, скажем, кожу с живота головастика на спину. Найдет ли кожный нерв дорогу к своим, определит ли среди множества стволов тот единственный, что соединяет его с мозгом?

К тому времени, когда головастик стал лягушкой, пересаженная кожа окончательно прижилась на спине. Даже опытный микроскопист, наверное, с трудом определил бы здесь кусочек, срезанный с живота. Зато лягушечьи нервы быстро разобрались в подмене и, не признав ее законной, соединились, как обычно. Стоило пощекотать лягушке спину, она тут же принималась чесать задней лапкой живот. Видно, чувствительный нейрон не дал себя обмануть. Попав вместе с кожей на спину, он все-таки отыскал "своих", вплелся в нерв, несущий ощущения с живота. И хотя кусочек кожи оказался на новом месте, вдали от постоянной "прописки", его сигналы шли в мозг обычным путем.

В этом быстром, безошибочном объединении сходных нейронов, в точном скреплении их в заданных местах заключен один из важнейших секретов высокой надежности монтажа элементов сложнейшей из всех систем организма — центральной нервной системы.

Итак, одна из главнейших задач бионики — изучение и перенесение в технику важнейших принципов, используемых природой для обеспечения высокой надежности функционирования живых организмов. "Пожалуй, самое главное, что должна перенять радиоэлектроника у живой природы, — пишет член-корреспондент АН СССР В. И. Сифоров, — это высокая надежность. Ведь если вы поцарапали палец, то организм сам производит необходимый "ремонт". Кровь свертывается, кровотечение немедленно останавливается, и через некоторое время царапина заживает. Сейчас мысль ученых и инженеров направлена на то, чтобы создать нечто подобное и в технических устройствах. Пока "самозалечивание" электронных машин в основном сводится к автоматическому включению резервных блоков, однако в будущем, по-видимому, появятся системы, которые будут находить неисправную деталь и заменять ее новой".

Из известных нам природных принципов, обеспечивающих надежность центральной нервной системы и живого организма в целом, сегодня наибольший интерес для теории и практики надежности электронной техники представляют методы многоступенчатого резервирования, методы автоматического изменения структуры и методы автоматического изменения (загрубления) параметров отдельных частей системы при неблагоприятных условиях. Но как все это практически осуществить с наибольшей эффективностью для радиоэлектронных и кибернетических устройств, как добиться стопроцентной надежности в работе? — вот вопрос вопросов!

Ряд интересных соображений на сей счет высказал известный советский физиолог член-корреспондент АН СССР З. А. Асратян. В основном они сводятся к следующему:

> "Во время процессов торможения нервные клетки восстанавливают свою активность, подготавливаются к дальнейшей деятельности. В сложных автоматических системах не все элементы одновременно участвуют в работе. По-видимому, целесообразно иметь в таких системах специальный механизм, который, не участвуя в основной деятельности, использовал бы вынужденные простои для проверки этих элементов, для их

профилактического ремонта...

Запасные элементы нервной системы во многом обеспечивают ее надежную работу. Они не лежат на складе, как запасные детали машин, а в любую минуту готовы встать в строй взамен пораженных. И неважно, что многие функции основных элементов им не под силу. Главное — организм продолжает жить, создается возможность для возвращения в строй поврежденных участков.

Конструкторы должны научиться использовать этот принцип при создании сложных автоматов. Ведь даже самые совершенные из них оказываются сейчас беспомощными при поломке второстепенной детали. Но как конкретно воплотить это пожелание в жизнь? Принципиально так. Создадим машину из элементов трех типов: постоянно действующих элементов, которые обеспечивали бы быструю и точную работу машины, таких же элементов, но работающих при выходе из строя первых, и элементов еще одного типа, работающих не так быстро и не так точно, но поддерживающих бесперебойность работы системы до тех пор, пока не будут заменены или исправлены основные.

Не этот ли принцип динамической перестройки, перестройки "на ходу" даст возможность создавать в будущем машины, сопоставимые по своей надежности с мозгом?

И вот что еще следовало бы перенять у нервной системы. Отдельные узлы машины должны быть достаточно самостоятельными, но относительная самостоятельность узлов должна объединяться и подчиняться высшим регуляторам системы. При этих условиях подчиненные регуляторы будут работать даже при выходе из строя высших".

Как видите, сегодня физиолог дает инженерам, творцам электронных систем, замечательные идеи и даже рекомендует готовые методы повышения надежности вычислительных и управляющих машин. Союз физиологии и электроники, осуществляемый бионикой, с каждым днем делается все более плодотворным. Ярким примером тому служит успешное изучение и использование выработанных природой методов достижения высокой структурной надежности. Хотя здесь сделаны лишь первые шаги, но они привели к созданию "триплетов" — строенных элементов, действующих по методу "голосования", при

котором характер выходного сигнала (0 или 1) соответствует характеру сигналов на большинстве выходов. При таком методе резервирования система сохраняет работоспособность при выходе из строя части логических элементов. . Допустим, что мы имеем систему, в которой только три логических элемента; тогда для ее выхода из строя необходимо, чтобы отказали по крайней мере два из трех элементов. Этот же принцип можно распространить на любое число нечетных логических элементов. Если в системе используется, например, пять логических элементов, включенных параллельно, то специальное устройство, которое называется мажоритарным элементом[27] и выполняет роль "судьи", будет выдавать решение по сигналам трех или большего числа логических элементов. И если даже откажут два из пяти элементов, устройство все же будет продолжать работать. В общем случае включается 2n + 1 логический элемент параллельно, а мажоритарный элемент принимает решение по сигналам не менее чем n + 1 элемента. Чтобы такая система отказала, надо, чтобы отказал по крайней мере n + 1 логический элемент.

Этот принцип "голосования по большинству" чрезвычайно ценен в тех случаях, когда в логических узлах системы могут возникать какие-то неисправности, искажающие информацию (узел работает, но работает неправильно). Так, например, к качеству передачи срочных и важных цифровых данных, поступающих от электронных вычислительных систем, предъявляются очень жесткие требования. Достаточно сказать, что в этой информации допускается не более чем 1 ошибочный знак на 10 миллионов переданных, т. е. вероятность ошибки при передаче должна быть практически сведена к нулю. Мажоритарный принцип резервирования открывает широкие возможности для создания самоприспосабливающихся устройств. В этих устройствах после отказа одного логического узла происходит самовосстановление системы, при котором отдельные логические узлы принимают на себя функции вышедшего из строя и их действие оптимизируется. Другими словами, система самоприспосабливается к возникающим в ней отказам подобно тому, как это происходит в живых организмах.

В настоящее время разработан ряд схем резервирования с соединениями, очень похожими на соединения нейронов. В них для обеспечения такой же надежности, как у обычных схем, требуется в 200 раз (!) меньше компонент, причем надежность последних может быть в 10 раз меньше! По литературным данным, одна из экспериментальных моделей, построенная по принципу, напоминающему принцип соединения нейронов в

живых организмах, надежно работала при отказе 50% составляющих ее компонент.

Помимо проблемы надежности в радиоэлектронной промышленности имеется еще ряд жизненно важных задач, ждущих своего разрешения. В основном они сводятся к необходимости резкого увеличения выпуска и снижения себестоимости радиоэлектронных систем, уменьшения их габаритов, веса и потребляемой мощности. Говоря языком цифр, ученым и инженерам предстоит в ближайшие 15 — 20 лет увеличить объем производства радиоэлектронных устройств не менее чем в 6 раз по сравнению с достигнутым ныне уровнем, уменьшить их размеры, вес и потребление энергии в 100 — 1000 раз!

На человека, не посвященного в современные проблемы радиоэлектроники, приведенные цифры могут произвести ошеломляющее впечатление. Зачем, например, увеличивать выпуск радиоэлектронной аппаратуры в 6 раз, когда и так наша радиоэлектронная промышленность развивается вдвое быстрее, чем все промышленное производство страны? Или зачем уменьшать габариты, вес и потребляемую мощность радиоэлектронных устройств в 100-1000 раз, когда радиоприемники уже уменьшились до карманных размеров и потребляют мизерное количество электроэнергии? Попытаемся кратко ответить на эти вопросы.

Расчеты показывают, что при сохранении существующего уровня технической оснащенности сферы планирования, управления и учета в 1980 г. потребовалось бы занять в этой сфере заметную часть взрослого населения Советского Союза. А если бы мы сохранили современный технический уровень в сфере производства, то в 1980 г. нам пришлось бы привлечь к работе во всех отраслях народного хозяйства не менее 400 миллионов рабочих. Поскольку это практически неосуществимо, надо искать иные пути резкого повышения производительности труда. Огромными потенциальными возможностями в решении этой важнейшей государственной задачи располагает электронная техника. Поэтому вполне естественно, что объем выпуска радиоэлектронной аппаратуры должен из года в год резко увеличиваться.

Теперь о проблеме уменьшения габаритов и веса электронной аппаратуры.

Многие радиоэлектронные устройства, которые можно было бы с большим успехом применять в народном хозяйстве, в оборонной технике, не изготовляются только потому, что они очень громоздки, не вписываются в отводимые для них места и

очень тяжелы. Лучше всего это знают конструкторы всевозможных летательных аппаратов — самолетов, искусственных спутников, космических кораблей. Известно ли вам, например, сколько насчитывается различных деталей в радиоэлектронной аппаратуре, установленной на современном тяжелом самолете? Более 150 тысяч штук! На рис. 13 показан рост числа деталей, используемых в электронных системах американских самолетов-бомбардировщиков, за 25 лет. В конце второй мировой войны на самолетах В-17 и В-29 применялась аппаратура, состоявшая из 1000 — 2000 электронных деталей. Ныне на самолетах В-70 число их возросло до 150 000! Для того чтобы поднять в воздух 1 кг самолетного оборудования, нужно на 10 — 20 кг увеличить взлетный вес самолета. Еще хуже выглядит это соотношение для космических ракет. По американским Данным, отношение веса системы разгона космического корабля к полезному грузу, запускаемому в космос, составляет 1000 : 1!

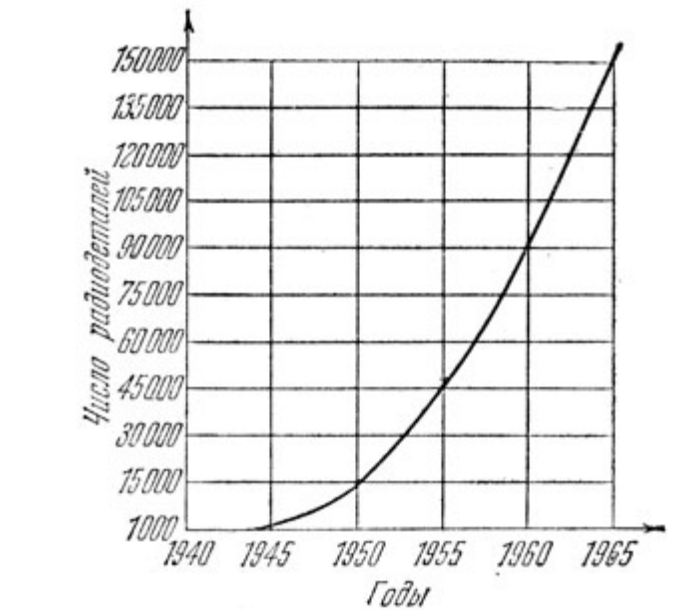


Рис. 13. Рост числа радиодеталей в авиационной радиоэлектронной технике по годам

Таким образом, чем легче и компактнее электронные устройства, устанавливаемые на искусственных спутниках, тем больше полезной информации можно получить из космоса, не увеличивая мощности ракетных двигателей. Не менее важно и другое. От уменьшения размеров электронной аппаратуры в большой степени зависит также повышение ее надежности, ибо хорошо известно, что малогабаритные конструкции значительно лучше противостоят ударной и вибрационной нагрузкам, чем

крупногабаритные. Все дело в том, что силы, создаваемые ускорением, пропорциональны массе того тела, к которому они приложены. А масса в свою очередь пропорциональна кубу среднего размера тела. При уменьшении размера электронного устройства его масса уменьшается очень существенно и система становится более устойчивой к силам, возникающим при ускорениях.

Уменьшить габариты и вес современной электронной аппаратуры в 100 — 1000 раз — дело, конечно, нелегкое. Но добиться этого ученые и инженеры обязаны. Иначе ею нельзя будет оборудовать космические корабли для полетов человека на Луну, Марс и Венеру. Ведь на таких кораблях будет очень много электронной аппаратуры: установки для связи с Землей, локаторы, счетно-решающие устройства для вычисления траектории полета, установки, поддерживающие нормальные условия для жизнедеятельности экипажей, и т. д.

Иначе сотни тысяч вычислительных устройств, которые будут созданы в течение ближайшего десятилетия, потребуют нерационально больших помещений.

Иначе электроника не сможет занять подобающее ей место в нашей будущей жизни: из-за громоздкости электронной аппаратуры она окажется неприемлемой на производстве, на транспорте, в медицине, в быту.

Не менее остро стоит сейчас вопрос о резком снижении мощности, потребляемой радиоэлектронной аппаратурой. Важность этой проблемы видна хотя бы из того, что для питания выпускаемых ежегодно в нашей стране телевизоров и радиоприемников нам требуется каждый год три новых Днепрогэса! И еще пример. Дальнейшее изучение космоса требует запуска искусственных спутников, которые вращались бы вокруг Земли в течение 5 — 10 лет. Для обеспечения питанием электронной аппаратуры спутников в течение столь длительного времени необходимо, чтобы потребляемая ею энергия исчислялась не ваттами, а милливаттами.

По какому же пути следует идти, чтобы достигнуть резкого увеличения объема производства, снижения стоимости, уменьшения габаритов, веса и потребляемой мощности электронной техники? Магистральной дорогой комплексного решения всех этих задач служит микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры.

Микроминиатюризация — принципиально новый метод разработки и изготовления радиоэлектронных систем. В ее основе лежит модульная система конструирования, заимствованная из отечественной строительной техники. В строительстве этот метод

конструирования заключается в выборе и взаимоувязке размеров зданий и их элементов (ширина и длина помещений, высота этажей, высота и ширина оконных и дверных проемов и т. д.), а также размеров выпускаемых промышленностью строительных деталей, материалов и оборудования зданий. В соответствии с этим же методом выбираются и размеры мебели. Основным требованием модульного метода является кратность всех номинальных размеров регламентированной единице измерения, называемой модулем (в СССР в строительстве принят модуль, равный 100 мм). Главная цель, которую преследует модульная система, — это содействие типизации и стандартизации в проектировании и производстве, способствующим механизации и автоматизации, снижению стоимости и сокращению сроков строительства.

Радиоэлектронная аппаратура также может конструироваться в виде модулей, т. е. узлов стандартных размеров, кратных определенной единице измерения. Модули могут состоять из различных радиодеталей и выполнять различные рабочие функции (генератора, усилителя, триггера и т. д.). В зависимости от характера применения электронной аппаратуры, отводимого для нее пространства на объекте установки и от окружающих условий работы модульные функциональные узлы могут иметь различную форму, но для конкретной аппаратуры узлы изготовляются по однотипной конструкции.

Широкому использованию принципов модульного конструирования в радиоэлектронике в большой степени способствовало появление полупроводников и освоение техники печатного монтажа. Применение модульного конструирования, использование миниатюрных полупроводниковых приборов, разработка новых технологических приемов монтажа позволили резко, в 5 — 10 раз, повысить плотность "упаковки" радиодеталей в функциональных узлах электронной аппаратуры. Там, где еще недавно радиотехника удовлетворялась размещением 0,2 — 0,3 детали в 1 см? объема и считала это пределом плотности монтажа, стала возможной установка 1,5 — 3 деталей. Самое же главное заключается в том, что новый метод конструирования функциональных узлов и печатный монтаж впервые позволили механизировать и частично автоматизировать сборку радиоэлектронных устройств, уменьшив ее трудоемкость по сравнению с традиционным навесным монтажом в 10 и более раз! Таким образом, метод модульного конструирования, создание полупроводниковых приборов и использование печатного монтажа положили начало миниатюризации, механизации и автоматизации производства радиоэлектронных устройств.

Около десяти лет назад у слова "модуль" появилась приставка "микро". Микромодуль — это функциональный узел, элементом которого является стандартная плоская керамическая пластинка — галета размером 9,6 X 9,6 X 0,25 мм. На такой пластинке можно размещать различные радиодетали, например: четыре сопротивления (до 1 Мом), конденсаторы, в том числе электролитические, кварцы для стабилизации частот (начиная с 7 Мгц), катушки индуктивности (от долей микрогенри до 10 Мгн), транзисторы, диоды и другие полупроводниковые приборы (рабочая часть их размещается между двумя тонкими галетами), электромеханические фильтры, а также другие детали — подстроечные конденсаторы и т. д. Производство микроэлементов, сборка их в пакеты (их спаивают проволочками, образуя подобие "этажерки"), настройка и последующая герметизация (их заливают "намертво" специальным, очень прочным составом) осуществляются машинами-автоматами. Высота микромодулей, собираемых на квадратных пластинках, может быть различной и зависит от схемы. Максимальная рассеиваемая мощность составляет 1 — 2 вт на каждый микромодуль. Два-три таких кубика-микромодуля размером в 1 — 2 $см^3$, установленные на общей плате из диэлектрика и электрически соединенные друг с другом печатными проводниками, образуют радиоприемник, передатчик, телевизор и другие радиоэлектронные устройства.

Электронные системы в микромодульном исполнении обладают хорошей механической прочностью, они легки и компактны. В каждом кубическом сантиметре микромодуля помещается от 15 до 25 радиоэлементов. Это значит, что в таком функциональном узле можно достичь почти в 10 раз большей плотности монтажа, чем в печатных схемах, и примерно в 100 раз превысить плотность классического, навесного, объемного монтажа обычных радиодеталей. Наглядное представление о том, насколько микромодули позволяют уменьшить размеры и вес радиоэлектронной аппаратуры, могут дать следующие примеры. В чехословацком Научно-исследовательском институте техники связи им. А. С. Попова создан малогабаритный чувствительный радиовещательный супергетеродинный приемник. Он состоит из 7 микромодулей и имеет размеры 92 X 72 X 32 мм, которые определяются в основном габаритами громкоговорителя, переменного конденсатора и четырех миниатюрных батарей. Его выходная мощность равна 100 мвт. Недавно разработан образец радиоприемника на 5 микромодулях (каждый объемом 1,64 $см^3$). По своим размерам он не больше авторучки, весит 62 г, а по качеству не хуже обычного лампового приемника среднего

класса, который мы с трудом поднимаем двумя руками. Объем индикатора навигационного устройства, выполненного на микромодулях, в 100 раз меньше, чем при использовании ламп, а потребление мощности — в 6 раз меньше. Американская аппаратура для высокочастотной телефонии AN/TCC13, собранная на электронных лампах с применением объемного монтажа, весила 540 кг и занимала объем 1100 дм^3. Новая аппаратура на транзисторах AN/TCC26, имевшая такие же параметры, весила всего 31 кг и имела объем 68,5 дм^3. Такая же аппаратура на микромодулях имеет вес 1,35 кг и объем 1,93 дм^3. И последний пример. Электронное устройство размером в комнату в микромодульном исполнении занимает объем портативной пишущей машинки.

А какова надежность микромодулей? Инженеры могут гордиться: у современных микромодульных радиоэлектронных систем она в 60 раз выше, чем у ламповых устройств, и в 5 раз выше надежности приборов, собранных на полупроводниках. Практически это означает, что микромодульная радиоэлектронная аппаратура может безотказно проработать десяток лет, а затем раньше, чем она выйдет из строя, ее спишут, как морально устаревшую.

Микромодули получили широкое применение в устройствах для высокочастотной телефонии, а также в различных устройствах импульсной техники: в вычислительных машинах, коммутаторах и т. п. Особенно выгодно их применение в импульсной технике, например в радиолокационном оборудовании. Здесь в основном используются элементы, которым можно придать практически плоскую форму (сопротивления, конденсаторы, транзисторы, диоды), и отпадает необходимость в применении таких "объемных" деталей, как катушки индуктивности. При этом степень механизации и автоматизации производства аппаратуры резко повышается.

Но не успели создатели микромодулей закрепить за собой почетные титулы основоположников и зачинателей микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры, как ученые перешли к молекулярной электронике (молектронике). Важнейшей вехой на пути развития этого нового направления в конструировании и производстве электронной техники явились тонкопленочные схемы, или, как их часто называют, микросхемы.

Техника пленочных схем имеет много чрезвычайно важных достоинств. Она позволяет в значительно большей степени, нежели микромодули, микроминиатюризировать радиоэлектронные устройства и повысить их надежность. Другое замечательное свойство пленочной микроэлектроники —

возможность создания микросхем в едином технологическом процессе.

Тонкопленочные схемы изготовляют в сверхчистой среде — специальном высоковакуумном агрегате, работающем при давлении порядка одной десятимиллионной доли атмосферы. Весь процесс основывается на термическом испарении различных материалов или их распылении при помощи ионной бомбардировки (для сопротивлений используется тантал, нихром, вольфрам и т. п., для изоляции — моноокись и двуокись кремния, сульфид цинка и некоторые сложные стекла, для диэлектрика конденсатора — моноокись кремния, фториды церия и др.; для проводников — алюминий, серебро, золото и др.) и последующем осаждении в виде тончайших пленок на нагретую до определенной температуры полированную подложку, изготовляемую обычно из керамики, стекла или ситалла.

Так путем последовательного напыления на подложку через маски (трафареты) тонких слоев различных материалов можно сформировать любой электронный блок, по своей структуре похожий на слоеный пирог. Один из слоев может содержать микросопротивления, несколько следующих — микроконденсаторы, определенные слои могут нести соединительные схемы и другие элементы. Количество слоев и возможность сочетания различных материалов целиком зависят от совершенства технологических методов и наших знаний физики тонких пленок. Сейчас уже можно создавать из различных материалов двадцатислойные пленочные структуры, обеспечивающие высокое быстродействие микросхем.

Ярким примером, иллюстрирующим возможности пленочной электроники, служит отечественный микроприемник "Микро", построенный по схеме прямого усиления, с автоматической регулировкой громкости. Он работает в двух диапазонах — на средних и на длинных волнах. Приемник изготовлен на основе сверхсовременной пленочной технологии. Размеры этого шести-транзисторного приемника — 42 X 28 X 6 мм, вес — 18 г. Приемник прикалывается к платью булавкой, как брошь. Да, он выглядит нарядной безделушкой — намного меньше спичечного коробка и тоньше многих наручных часов. Пленочная схема приемника напоминает абстрактную картинку размером с почтовую марку, замысловатый рисунок ее скрывает около 30 конденсаторов и сопротивлений и не один десяток соединительных проводов. Когда смотришь на это чудо микроэлектроники, невольно вспоминается лесковский тульский оружейник, сумевший подковать блоху. Кажется, ничего не может быть меньше, компактнее, миниатюрнее этого поистине

ювелирного изделия, ничего не может быть совершеннее его. Но...

В еще большей степени, нежели пленочные схемы, проблему микроминиатюризации радиоэлектронной аппаратуры позволяет решить "планарная" технология изготовления твердых, или, как их еще называют, интегральных схем. Твердые схемы — прямые потомки полупроводниковых триодов и диодов. Размеры кристаллов, которые применяются в полупроводниковых приборах, — примерно порядка 1 мм. Но работает в таком кристалле практически лишь небольшой слой толщиной в несколько микрон — так называемый р — n-переход, т. е. район, где смыкаются две зоны кристалла с различной проводимостью — дырочной, положительной (р — positiv), и электронной, отрицательной (n — negativ). В твердых же схемах с помощью очень тонких и сложных технологических приемов в одном кристалле создают десятки подобных р — n-переходов, выполняющих обязанности диодов, транзисторов, конденсаторов, сопротивлений и др. Выражаясь техническим языком, интегральная схема — это "микроминиатюрная структура, в которой многочисленные радиоэлементы соединяются в схему на поверхности или внутри одной основы".

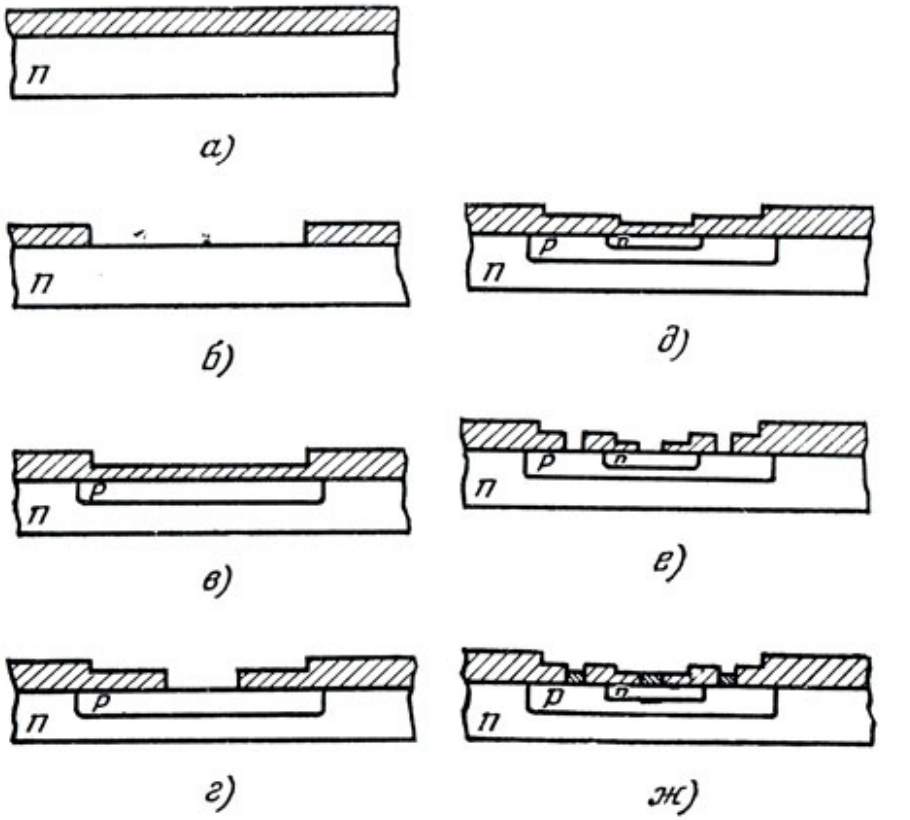


Рис. 14. Последовательность технологических операций при изготовлении планарного транзистора. а) Окисление; б) удаление окисной пленки из базовой области; в) диффузия примеси, формирующей базовую область; г) удаление окисной пленки 'из эмиттерной области; д) диффузия примеси, формирующей эмиттерную область; е) удаление окисной пленки из областей контактов; ж) нанесение металлических контактов

На рис. 14 показана последовательность технологических операций при изготовлении планарного транзистора. При производстве планарных транзисторных структур сначала окисляют поверхность кремниевой заготовки, а затем на этой поверхности методом фотолитографии и последующего вытравливания окисной пленки плавиковой кислотой получают незащищенные области кремния для создания базы. На эту незащищенную поверхность заставляют диффундировать одну из акцепторных примесей, для которой окисел является эффективной маской. Далее окисную пленку удаляют из областей, в которых затем создают эмиттер. Вследствие диффузии одной из донорных примесей в кристалл кремния

образуется область с электронной проводимостью — эмиттер. Следующая операция заключается в удалении окисла с части эмиттерной и базовой областей для выполнения омических контактов. Наконец, в результате последней операции также методом фотолитографии создают необходимую систему металлизированных выводов.

Вероятно, если бы лесковскому Левше довелось сегодня познакомиться с изящностью методов планарной технологии и виртуозным мастерством инженеров по созданию твердых схем, великий умелец не поверил бы глазам своим. Да и у нашего современника, в течение многих лет привыкшего к так называемому классическому, навесному, монтажу, в плену которого радиотехника находилась не один десяток лет, результаты, полученные на интегральных схемах, с большим трудом укладываются в сознании. Согласитесь, что нелегко представить себе усилитель низкой частоты мощностью в 5 вт, размером с копейку или кремниевую пластинку диаметром с наручные часы, на которой сформированы одновременно 65 твердых схем, каждая из которых содержит 15 транзисторов, 7 диодов, 15 сопротивлений и целый лабиринт соединений! В результате замены обычных деталей интегральными микроузлами объем американских электронных счетных машин для управления снарядами удалось уменьшить в 66 раз, а вес — в 23 раза.

Наряду с резким уменьшением габаритов и веса радиоэлектронной аппаратуры, интегральные схемы позволяют успешно решить и такую фундаментальную задачу электроники сегодняшнего и завтрашнего дня, как повышение надежности. Ведь в твердых схемах отсутствуют соединения цепей, выполненные с помощью пайки, — один из самых ненадежных элементов радиоэлектронных систем. Согласно одному подсчету, в 1960 г. в электронной вычислительной машине, работающей на лампах, повреждение возникало один раз в 8,65 час. В 1964 г., после перехода на электронные вычислительные машины на транзисторах, число аварий сократилось до одного случая в 74 час. Применение интегральных схем дает еще большие преимущества. В 1965 г., когда были применены первые интегральные схемы, в работающей на них электронной вычислительной машине одно повреждение приходилось на 1650 час работы. Предполагается, что к 1970 г. длительность безаварийной работы достигнет 12 400 час.

Одним из важнейших достоинств интегральных схем является то, что они позволяют резко снизить потребляемую мощность. Ниже приводится таблица, показывающая улучшение важнейших

параметров усилительного каскада при его переводе на твердые схемы.

	Исполнение		
	на лампах	на транзисторах	на твердых схемах
Частота отказов на 100 *час* работы, %	0,1	0,05	0,007
Объем схемы, $см^3$	65	16,2	0,016
Вес, *г*	26	7	0,02
Потребляемая мощность, *вт*	5	0,75	0,06

Таблица 3

Сейчас в твердых схемах достигнута объемная плотность монтажа, эквивалентная примерно 2 — 3 тысячам радиоэлементов в 1 $см^3$. Это значит, что в кристалле кремния размером меньше булавочной головки может разместиться микросхема, содержащая (в пересчете на обычные радиодетали) 30 — 40 элементов. Но это еще не предел. По мнению ряда специалистов, в недалеком будущем в 1 $см^3$ твердой схемы можно будет "вогнать" до 300 тысяч радиодеталей! К этому нужно добавить очень важное обстоятельство — сама методика изготовления молектронных схем обеспечивает надежность электронной техники, близкую к 100%.

Наступает эра микроэлектроники. Это не пустая звонкая фраза. Опыт создания твердых схем подготовил по существу новый этап микроминиатюризации — переход процесса изготовления электронных устройств на атомно-молекулярный уровень[28]. Электронная техника начинает прятаться в недра вещества. Рассматривая твердое тело как систему со многими частицами в небольшом объеме, ученые стремятся к тому, чтобы использовать все 10^{23} атомов, заключенных в каждом кубическом сантиметре твердого тела. В таком объеме теоретически можно разместить миллионы элементов электронной схемы.

В последнее время в производстве молектронных схем начали применяться ионнолучевые установки, электроннолучевая и лазерная техника, которые имеют большие перспективы дальнейшего развития. Дифракция не позволяет сфокусировать свет в точку диаметром менее 0,1 мк, тогда как электронная оптика в состоянии свести электронный луч в пятнышко диаметром до нескольких ангстрем. Электронный луч умеет многое. Он способен по команде оператора сваривать,

гравировать, расплавлять, испарять, осаждать материалы из газовой фазы, разлагать химические соединения, фрезеровать пленки, проделывать микроскопические отверстия и т. п. Словом, электронный луч в своем универсальном могуществе — это и швец, и жнец, и на дуде игрец.

Еще более великолепными способностями, подобно джину из сказок "Тысячи и одной ночи", обладает ионный (молекулярный) луч. Сформированный из паров акцепторного или донорного примесного вещества, сфокусированный с помощью электромагнитной системы, послушный воле своего повелителя (программе, заданной человеком) и направленный на поверхность монокристалла кремния, он обеспечивает избирательную диффузию, причем глубина проникновения и конфигурация диффундирующего слоя заданы программой. Метод внедрения молекул примесей в кристалл кремния посредством ионного луча позволяет добиться более высокой точности образования областей определенной проводимости, чем метод, использующий механические маски. Ионный луч — мастер на все руки. Изменяя состав луча, можно наносить на подложку различные элементы электронной схемы — резисторы, конденсаторы, индуктивности, соединительные проводящие мостики. Так рождается твердая схема, замурованная в кристалл кремния, словно мушка в янтарь.

Анализируя весь ход развития электронной техники за последние годы, можно без преувеличения сказать, что дела здесь сейчас складываются так, когда чуть ли не каждый успех в естествознании начинает "работать" на микроэлектронику. Метаморфозы предельно чистых веществ, волшебство корпускулярных потоков, парадоксы низких температур, магия лазерной оптики, раскрывающиеся тайны биологических структур — все это чудесные ветры, надувающие паруса кораблика микроэлектроники. Поэтому так легок его бег, так стремительно его продвижение вперед. Ученые считают, что уже в самом недалеком будущем молек-тронные схемы смогут выполнять около 80% функций основных блоков радиоэлектронных устройств,' будут стоить в десятки раз дешевле, чем сейчас, а новая технология резко увеличит мощности электронной промышленности.

Настоящие и ожидаемые в будущем успехи молектроники и бионики позволяют строить самые оптимистические прогнозы относительно создания микроэлектронных вычислительных машин с огромным объемом памяти и большим быстродействием при минимальном расходе электроэнергии. Некоторые ученые и, в частности, академик С. А. Соболев считают, что электронной технике не миновать этапа, когда вычислительные машины будут

делать на белковой основе. Эту же мысль незадолго до смерти высказал Норберт Винер. На вопрос корреспондента журнала "Юнайтед стейтс ньюс энд уорлд рипорт": "Что вы можете сказать о будущем вычислительных машин?" — основоположник кибернетики ответил так:

> "Генетическая память — память наших генов — определяется, по существу, комплексами нуклеиновых кислот. На протяжении последнего года появились основания думать, что память нервной системы имеет такую же природу. На это указывает открытие в мозгу комплексов нуклеиновых кислот, обладающих свойствами, которые в принципе могли бы быть хорошей основой памяти. Я полагаю — и я не одинок, — что примерно в следующем десятилетии подобные принципы будут использованы в технике.
>
> ...Будут вещества, сходные с генами. Это потребует новых фундаментальных исследований. Как осуществить ввод и вывод информации для генетической памяти, как использовать эту память в машине — решение таких задач связано с обширными исследованиями, которые сейчас еще только-только начаты. Некоторые из нас полагают (это еще не проверено), что ввод и вывод информации можно осуществить, используя молекулярные спектры испускания и поглощения комплексов нуклеиновых кислот. Сбудется ли это, я не возьмусь утверждать. Но саму идею некоторые из нас рассматривают серьезно".

Далее на вопрос: "Какова будет производительность такой машины (в блоках памяти которой предполагают использовать гены. — И. Л.) по сравнению с современными вычислительными машинами?" — Винер ответил:

> "Во много раз больше, а размеры ее будут гораздо меньше ныне существующих. Она сможет перерабатывать гораздо больший объем информации".

Не все ученые согласны с предсказаниями С. А. Соболева, Н. Винера и др., что в будущем дело дойдет до построения белковых машин. Как бы то ни было, эти перспективы весьма далекие.

Но если заглянуть несколько ближе, то вполне реальным может стать создание вычислительных машин на базе так называемой "ростовой" (непрерывной) технологии, широко применяемой в "радиоэлектронном производстве" живой

природы.

Хорошо известно, что мозг строится и развивается в результате естественного роста. Выращивать искусственные нейроны мы пока еще не научились, но принципиально это вполне осуществимо при условии познания механизмов роста живой материи. Во всяком случае, специалисты по бионике, по электронным устройствами, по кристаллографии, по физике твердого тела и другие ученые проявляют большой интерес к "ростовой" технологии, идеально отработанной живой природой. В ряде стран сейчас ведутся интенсивные бионические исследования в этой области. Поскольку вся полупроводниковая техника — это кристаллическая техника, ученые особенно большие надежды возлагают на создание электронных вычислительных машин посредством выращивания кристаллов. И нужно сказать, что надежды эти уже начинают оправдываться.

> "Известно, — пишет А. М. Эндрю в своей книге "Мозг и вычислительная машина", — что при прохождении электрического тока через раствор железного купороса на дне сосуда образуются железные нити. Гордону Паску удалось вырастить довольно разветвленную систему нитей в сосудах с большим числом электродов. Информация в виде электрических сигналов поступает в систему железных нитей через электроды. Здесь же имеются и другие считывающие электроды, которые получают сигналы из системы. Паск рассмотрел ряд способов, которыми можно создать систему, самоорганизующуюся для достижения некоторой цели. Простейшие компоненты, из которых в перспективе будут состоять вычислительные машины, возможно, смогут саморазмножаться подобно железным нитям, полученным Паском. Дальнейшие исследования головного мозга покажут, как должна функционировать вычислительная машина, состоящая из таких элементов".

Итак, мы стоим перед новыми революционными преобразованиями в электронной технологии. Не нужно быть фантастом, чтобы представить себе, как в будущем методами заимствованной у природы непрерывной "ростовой" технологии инженеры получат возможность выращивать в особой среде не только отдельные элементы, узлы и блоки электронных устройств, но и целые вычислительные машины. Архаизмом станут процессы монтажа и настройки радиоэлектронной аппаратуры. "Ростовая" технология избавит вычислительную технику от ее злейших врагов — контактов и соединений с

помощью пайки, позволит наконец полностью решить головоломную проблему века — проблему высокой надежности электронной техники. Сказочно — другое слово трудно подобрать — повысится уровень "мышления" вычислительных машин. Если в 1 $см^3$ самых умных электронных "мозгов" сейчас сосредоточено 2250 различных деталей, то в будущем плотность упаковки элементов в вычислительных системах приблизится к плотности нейронов в мозгу (225 миллионов в 1 $см^3$). Иными словами, грядущие электронные помощники и "соперники" человеческого мозга станут в 100 000 раз "умнее" своих предшественников. Резко возрастет и быстродействие вычислительных машин. Нынешние "молниеносные" вычислительные системы, которыми мы так восхищаемся, — страшные тугодумы. Даже самая быстродействующая машина — "сверхмозг" не делает больше 100 миллионов операций в секунду. Вычислительные же системы, созданные методами выращивания, будут, по мнению ученых, работать на сверхкоротких импульсах, т. е. будут производить миллиарды и даже тысячи миллиардов операций в секунду!

Достижение колоссального быстродействия, феноменальной емкости памяти вычислительных машин — дело только времени. Инженеры и физики находят сейчас все новые и новые способы решения этих проблем. Очень может быть, что глубокое познание механизмов роста живой материи укажет совершенно новые пути развития методов выращивания электронных систем, ничего общего не имеющих с процессами кристаллизации. Возможно и другое — ученые пойдут по пути синтеза искусственных и естественных методов выращивания. Во всех случаях оба пути, надо полагать, приведут к дальнейшему совершенствованию технологии создания вычислительной техники.

Теперь, когда нам известны основные проблемы электроники наших дней и пути, какими они будут решаться, мы можем заглянуть в ближайшее будущее радиоэлектронной промышленности, которое наступит, скажем, через 50 лет.

Итак, 2018 г. В 2018 г. не будет радиоэлектронной промышленности в том виде, к какому мы привыкли сейчас. Производство радиодеталей, на котором основана современная электронная промышленность, полностью исчезнет. Использование достижений бионики, кибернетики, физической химии и кристаллохимии качественно изменит принципы конструирования радиоэлектронной аппаратуры, сотрет грань между элементами и узлами систем, коренным образом изменит организацию производства радиоэлектронных устройств.

В течение ближайших 50 лет будут разработаны и построены саморегулирующиеся вычислительные машины, которые будут

осуществлять функции разработчиков, конструкторов и сборщиков электронных систем. Информация, полученная из этих "конструирующих машин", будет храниться в накопителях (компактных кладовых знания) и оттуда поступать в автоматические сборочные машины, которые будут производить и собирать законченное электронное устройство из обрабатываемого сырья. Опытная, или пробная, продукция будет возвращаться из сборочных машин в конструирующую машину, где будут исправляться ошибки в расчетах и конструкции функциональных схем (модулей) и изыскиваться оптимальные варианты системо-схем по важнейшим параметрам, а также по надежности, долговечности и стоимости. Эти конструирующие и сборочные машины будут достаточно гибкими и универсальными, чтобы рассчитывать и создавать самые разнообразные радиоэлектронные системы, требуя для этого только изменения величины сигналов на входе конструирующей машины и материалов, поступающих в сборочную машину. Так в недалеком будущем сольются в едином технологическом потоке процессы разработки, конструирования, экспериментирования и производства радиоэлектронных систем.

Разумеется, переход от изготовления интегральных схем к производству радиоэлектронных устройств на молекулярно-атомном уровне будет нелегким. Предстоит решить ряд сложнейших физических и технических проблем. Ученые должны в совершенстве овладеть способами управления взаимодействиями электрических и магнитных цепей, ядерных и термических явлений. При концентрации десятков и сотен миллионов "радиодеталей" в одном кубическом сантиметре объема перегрев неизбежен (ведь электрические явления сопровождаются выделением джоулева тепла и относительные количества этого тепла растут с уменьшением габаритов элементов). Чтобы опрокинуть тепловые барьеры сверхмикроминиатюризации, ученым придется много потрудиться. Надо изыскать такие вещества, молекулы и атомы которых способны надежно выполнять обязанности радиодеталей с наилучшими характеристиками.

Технический прогресс можно рассматривать как своеобразную искусственную эволюцию в процессе приспособления к окружающей среде, причем, как показывают бионические исследования, многие этапы естественной эволюции повторяются в развитии электронной техники. Поэтому столь важны проводимые сейчас бионические исследования "радиоэлектронных" систем живой природы, изучение ее самого гениального творения — человеческого мозга. Они уже дали

многое и будут еще полезнее в будущем, ориентируя инженеров на широкий круг возможностей перспективных разработок, готовя теоретическую и экспериментальную базу для грядущих технических реализаций в радиоэлектронике. И сегодня, заглядывая в коммунистическое завтра, нам видится в руках ученого быстродействующая электронная вычислительная машина величиной с томик стихов Есенина. С помощью такой книжки-машины филолог и археолог будут расшифровывать неразгаданные письмена древности, астрономы — рассчитывать орбиты планет, обращающихся вокруг далеких звезд. Экономисту микромашина позволит произвести технико-экономический анализ работы предприятий и целых отраслей промышленности, селекционеру даст возможность подвести итог многолетних экспериментов по выведению новых сортов пшеницы и подскажет, как сделать, чтобы в окончательном варианте было нужное количество белков и других питательных веществ. Биохимику портативная счетная машина поможет разгадать механизм обмена веществ в живом организме — сложную совокупность химических реакций, бионику — воспроизвести и проследить за короткий срок многомиллионнолетнюю эволюцию любой биологической системы. И не только филолог и археолог, экономист и селекционер, биохимик и бионик, а и ученый, работающий в любой области науки и техники, склонившись над микроэлектронной вычислительной машиной-книжкой, сможет заглянуть в неведомое и предвычислить грядущее!

* * *

Много, много тайн предстоит открыть бионике в творческой мастерской живой природы, решить множество сложнейших инженерных проблем. И молодая наука спешит, стремительно шагает в будущее из лабораторий Москвы и Киева, Ленинграда и Харькова, Новосибирска и Львова, Минска и Риги, Горького и Тбилиси, Казани и Томска. Ученые уже поговаривают о близком наступлении биовека, когда по примеру живой природы мы будем строить орнитоптеры и энтомоптеры, быстроходные подводные лайнеры, вездеходы для путешествий по Луне, Марсу, Венере и другим планетам, воздвигать на Земле лучезарные города из домов-деревьев и сказочной красоты поселения на дне морей и океанов, свободно ориентироваться в космосе, как птицы в воздухе, точно прогнозировать изменения погоды, наступление землетрясений и вулканических извержений, выращивать различные радиоэлектронные устройства, невиданные

биомеханизмы, искусственные нейроны, строить белковые вычислительные машины... Прямое превращение солнечного света в одежду и продукты питания по образцу фотосинтеза, происходящего в каждом зеленом листе... Вместо громоздких машин — искусственные мышцы... Управление самолетами, станками, автомобилями и ракетами простым усилием мысли, без всяких штурвалов и рулей... Но стоп! Позвольте передать авторучку фантастам, предсказания которых сбываются в наш век...

notes

Примечания

1

Узел — мера скорости движения судов. Он равен 1 морской миле в час, т. е. 1,852 км/час.

2

Энтомоптер — от греческих слов "энтомон" (насекомое) и "птерон" (крыло).

3

Число Рейнольдса Re равно lV/ν, где l — размах крыльев, V — скорость полета, а ν — кинематический коэффициент вязкости среды (если скорость при обтекании тела в воздухе значительно меньше скорости звука, то сжимаемостью воздуха можно пренебречь и, следовательно, допустимо рассматривать его как жидкость). Число Рейнольдса — безразмерная величина. При числах Рейнольдса, меньших 2200, в цилиндрической трубе обычно имеет место ламинарное течение, при больших его значениях наступает турбулентное течение.

4

Только у нас в СССР служба погоды получает информацию с 4000 метеостанций и 7500 постов. В 6000 пунктов ведутся гидрологические наблюдения, 210 станций зондируют атмосферу радиоволнами. У этой службы есть свои корабли погоды, к тому же она собирает информацию с 1000 неспециализированных судов, использует метеоракеты и спутник "Космос-122". Широко используется авиация: съемки снега с самолетов, наблюдение за льдами и т. д.

5

Как летучие мыши ухитряются расслышать сравнительно негромкое эхо в том оглушительном ультразвуковом гаме, который они сами порождают? Как они не глохнут? Поиском ответа на эти вопросы длительное время занимался доктор О. Хенсон — анатом Иельского университета. Ему удалось доказать правоту своего предположения, высказанного лет двадцать назад. Оказывается, у летучих мышей есть мышцы, закрывающие уши в момент испускания разведывательных ультразвуковых сигналов.

Интересно отметить, что аналогичный прием определения интегральных показателей, характеризующих те или иные стороны физических явлений, путем простого перечисления их свойств довольно часто применяется в науке. Например, в теории информации (см. С. Голдман, Теория информации, ИЛ, 1957) подобным образом вводится такое сложное теоретико-вероятностное понятие, как энтропия — степень неопределенности состояния.

7

Кабарга — небольшое горное животное, довольно часто встречающееся в горах Восточной Сибири.

8

Органы обоняния рыб сильно отличаются от обычных "носов" наземных животных. Запах растворенного в воде вещества они могут обнаружить, только попробовав воду на вкус. Поэтому органы обоняния рыб совмещены с органами вкуса и находятся вокруг рта, на губах. У некоторых пород они размещены иногда на плавниках и даже по всему телу. Несколько лет назад ученые заметили, что в коже различных рыб содержатся веретенообразные клетки, совершенно непохожие на клетки кожного покрова. Было высказано предположение, что странные веретенца исполняют обязанности химических датчиков, воспринимающих информацию из окружающей среды. Развитие электронной микроскопии позволило подтвердить оригинальную гипотезу. Веретенообразные клетки, найденные учеными в жаберных крышках и в коже примыкающей к жабрам части тела гольяна, оказались связанными с нервными волокнами. Кончики этих клеток чуть-чуть выступают над поверхностью кожи. По своему строению они похожи на известные клетки, которые у рыб воспринимают вкусовые ощущения.

Как отмечалось выше, аналогичной точки зрения на навигацию птиц придерживается и Д. Гриффин.

10

Профессор Ле-Риколе считает, что, если студент что-нибудь сделал собственноручно, построил какую-нибудь форму, она надолго закрепляется в его памяти, в то время как вещь, которую он только осматривает, легко забывается. Поэтому студенты Ле-Риколе один учебный год посвящают поискам формы, выполнению макетов.

11

"Силэб-1" окрасили в ярко-желтый цвет не случайно. Во-первых, ярко-желтая обитель резко выделялась на фоне подводного вулкана, на котором она бросила якорь, и за ней было легко наблюдать. Во-вторых, она служила гидронавтам своеобразным маяком, когда они возвращались из своих дальних заплывов. Наконец, ярко-желтый цвет имел еще одно неоценимое достоинство: его терпеть не могут акулы. Как-то в США провели такой эксперимент. В бассейн, где находилась акула, по очереди опускали щиты, окрашенные в разные цвета. И как только в воде появлялся ярко-желтый щит, до смерти испуганная хищница тотчас же шарахалась в сторону, забивалась в дальний угол бассейна и отказывалась от еды.

12

При разработке проекта экспедиции продолжительность ее работы должна была составлять один месяц. Однако на исходе десятого дня пришло сообщение о надвигающемся шторме. При сильном шторме морская лаборатория, подвешенная на тросах к судну-базе, могла оторваться от него, и тогда гидронавты неминуемо погибли бы мучительной смертью от кессонной болезни. Чтобы не подвергать их риску и сохранить в целости оборудование, Бонд решил поднять морскую лабораторию вместе с ее обитателями до начала шторма.

13

Глубоководный лифт представлял собой модернизированный подводный колокол высотой 3 м и диаметром 0,9 м. Его изготовили из легированного алюминия и оборудовали внутри электроосвещением, электрообогревом, телефоном, столиком и креслом.

14

Различные газы проходят через кремнийорганическую пленку Рабба с различными скоростями.

15

До сих пор считалось, что язык пчел расшифрован немецким зоологом профессором Карлом фон Фришем. Теперь гамбургский еженедельник "Ди цайт" сообщает, что это открытие сделано за 300 лет до наших дней в Англии садовником короля Карла II Джоном Эвелином. В старой книге XVII века библиотекарь случайно нашел такую фразу: "Кажется, будто пчелы говорят друг с другом при помощи разных танцевальных движений".

16

Бинауральный эффект — возможность определять положение звучащего тела при восприятии звука двумя ушами. Бинауральный эффект объясняется различием в силе звука у того и другого уха и различием во времени прихода к ним звука.

17

В воде звук распространяется примерно в 5 раз быстрее, чем в воздухе. Скорость звуковой волны в воздухе составляет 300 м/сек, или 1100 км/час; в воде она примерно равна 1500 м/сек, или 5400 хм/час. С повышением температуры воды на 1° Ц скорость звука возрастает приблизительно на 3,5 м/сек. Поглощение звука в воде в 1000 раз меньше, чем в воздухе; соответственно возрастает и расстояние, на котором еще можно принимать звуковые сигналы. В воздухе источник звука мощностью 100 квт слышен на расстоянии до 15 км, тогда как в воде источник звука мощностью 1 квт слышен на расстоянии 30-40 км. Недавно открыто сверхдальнее распространение звука по звуковому каналу — слою воды, внутри которого звуковые пучки многократно и полностью отралсаются. Ось этого канала в различных океанах проходит на разных глубинах. Расстояния, на которые можно послать по каналу звук, поразительно велики. Если на оси канала взорвать маленькую бомбу весом 1,8 кг, то ее негромкий звук можно услышать за 18 000 км от места взрыва!

18

Доктор Джон Лилли видный американский ученый, занимается изучением дельфинов с 1949 г. Он построил лабораторию по исследованию дельфинов на острове Сент-Томас в Карибском море. На ее основе возник Научно-исследовательский институт связи, директором которого является Д. Лилли.

19

Ти-ар-пи — фонетическая транскрипция английских букв T, R и P.

20

Созданный ранее оптический решающий фильтр представлял собой линейное пороговое логическое устройство, которое осуществляло взвешенное суммирование входных сигналов и сравнивало полученную сумму с пороговым значением. Если найденная сумма превышала пороговое значение, то на выходе устройства появлялся сигнал, равный 1. Если же сумма оказывалась меньше порогового значения, то на выходе появлялась — 1. Операции, выполняемые этим устройством, — пространственное суммирование, взвешенное суммирование и сравнение с порогом — являются частью операций, выполняемых биологическим нейроном, но не исчерпывают его возможностей.

21

Рефрактерный период — интервал времени после раздражения, в течение которого система не реагирует на следующее раздражение.

22

Дихотомия — последовательное деление целого на две части, затем каждой части снова на две и т. д.

23

Точно так же, как вещество состоит из мельчайших частиц, известных под названием атомов, свет состоит из очень малых "частиц", называемых фотонами; энергия одного фотона равна одному кванту.

24

Бит — единица информации в двоичной системе.

25

Континуальные модели — модели управляющих систем, представляющих собой сплошную, непрерывную, среду. Этим континуальные модели отличаются от дискретных моделей, в которых управляющие системы представлены множеством отдельных элементов со сложными связями между ними. Попытки построить сколько-нибудь сложные дискретные модели управляющих систем встречают значительные трудности, связанные с необходимостью рассматривать функции очень большого числа аргументов.

26

В современной электронной технике различают "холодное" и "горячее" резервирование. Холодное резервирование означает, что в системе имеются элементы, готовые заменить вышедшие из строя, но находящиеся в нерабочем состоянии. При горячем резервировании используется несколько одинаковых элементов, работающих параллельно.

27

Мажоритарный элемент включается на выходе группы одинаковых логических элементов и производит выбор выходных значений по большинству. Чтобы избежать неопределенности в решении задачи выбора правильного сигнала, количество входов в мажоритарный элемент должно быть нечетным.

28

Термин "молекулярная электроника" применяется здесь для интегральных схем преждевременно, так как в данном случае нет и речи о процессе на молекулярном уровне.